

PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL ECUADOR

FACULTAD DE INGENIERIA

ESCUELA DE CIVIL

DISERTACIÓN PREVIA A LA OBTENCION DEL TÍTULO DE
INGENIERO CIVIL

ESTABILIZACIÓN DE SUELOS COHESIVOS CON EL USO DE
CLORURO DE CALCIO

AUTORES:

JUAN EMILIO MIRANDA JARRÍN

DAVID FRANCISCO NEGRETE OLIVES

DIRECTOR: ING. GUSTAVO YÁNEZ

QUITO, 2011

ÍNDICE

INTRODUCCIÓN.....	1
OBJETIVO	2
ALCANCE	2
CAPÍTULO 1	3
DEFINICIÓN DE LOS MATERIALES	3
1.1. Generalidades.....	3
1.1.1. Suelo.....	4
1.1.1.1. Suelos Finos.....	5
1.1.1.2. Principales Propiedades de los Suelos.....	7
1.1.1.2.1. Estabilidad Volumétrica.....	7
1.1.1.2.2. Resistencia Mecánica.....	8
1.1.1.2.3. Permeabilidad	9
1.1.1.2.4. Durabilidad	10
1.1.1.2.5. Compresibilidad.....	11
1.1.2 Cloruro de Calcio	12
1.2. Definiciones Generales	12
1.2.1. Estabilización con Cloruro de Calcio.....	12
1.2.1.1 Limitaciones del Empleo de Cloruro de Calcio	16
1.2.1.2 Construcción con Cloruro de Calcio	17
1.2.1.3 Conservación de las Capas estabilizadas con Cloruro de Calcio	18
CAPÍTULO 2	19
CONCEPTOS DE LOS ENSAYOS DE LABORATORIO.....	19
2.1 Obtención del Suelo en el Campo.....	19
2.1.1 Pozo a Cielo Abierto	19
2.2 Ensayos y Características de los Materiales Cohesivos.....	19
2.2.1 Clasificación del suelo (S.U.C.S. y A.A.S.H.T.O.)	19
2.2.1.1 Granulometría.....	23
2.2.1.2 Límites de Atterberg.....	23

2.2.2 Gravedad Específica.....	24
2.2.3 Compactación (Proctor Modificado).....	25
2.2.4 CBR (Relación de Soporte California)	25
2.2.5 Compactación.....	27
2.2.6 Modulo de Resiliencia.....	27
CAPÍTULO 3	32
ENSAYOS DE LABORATORIO.....	32
3.1 Clasificación de Suelos SUCS y AASHTO.....	32
3.2 Límite de Contracción.....	40
3.3 Gravedad Específica	41
3.4 Compactación	42
3.5 CBR en Laboratorio.....	46
CAPÍTULO 4	138
ANÁLISIS DE RESULTADOS.....	138
4.1 Análisis de los resultados de los ensayos realizados al suelo natural	138
4.2 Análisis Comparativo de los Efectos de la Estabilización del suelo	139
4.3 Análisis comparativo de los costos de la estabilización del suelo utilizando Cloruro de Calcio con otros estabilizantes.....	146
CAPÍTULO 5	148
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	148
5.1 Conclusiones.....	148
5.2 Recomendaciones	151
5.3 Bibliografía	152
5.4 Anexos	154

INTRODUCCIÓN

En la Ingeniería Civil, la rama vial es muy importante porque no solo maneja grandes valores dentro de sus rubros, sino que sus obras sirven para el crecimiento del país. Al mejorar la infraestructura vial, un país incrementa su comercio interior y exterior, el turismo y la seguridad entre otros.

Investigaciones sobre el mejoramiento de los materiales que componen una vía es primordial no solo con el fin de recortar precios y favorecer la rentabilidad, sino que mejorará la vida útil del proyecto y también reduciría costos de mantenimiento periódicos.

En nuestro país por lo general en las obras viales realizan una estabilización de suelos colocando suelo graduado de canteras y en pocos casos lo mejoran con cal o cemento. Muy poco se conoce en el Ecuador la debida reacción de químicos como estabilizante, por lo que en este tema de disertación se analizará el comportamiento de suelos cohesivos junto al químico Cloruro de Calcio.

Las muestras se tomaron del proyecto vial Pedernales-San Vicente en las abscisas 0+000 km hasta 3+500 km con el fin de obtener suelos con alto porcentaje de finos para tener material con características desfavorables.

OBJETIVO

Estudiar el comportamiento de suelos cohesivos utilizando el Cloruro de Calcio como agente estabilizante para mejorar las propiedades físico-mecánicas en proyectos viales.

OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Determinar las características y propiedades de los suelos cohesivos.
- Establecer el porcentaje óptimo de Cloruro de Calcio a utilizarse en la estabilización del suelo cohesivo.
- Analizar y comparar los resultados con otros métodos estabilizantes de suelos.

ALCANCE

El presente estudio determinará las propiedades físico-mecánicas de un suelo cohesivo estabilizado con Cloruro de Calcio con las muestras tomadas de la vía Pedernales-San Vicente.

CAPÍTULO 1

DEFINICIÓN DE LOS MATERIALES

1.1. Generalidades.

En los últimos años se ha vuelto común para la estabilización de suelos el uso de métodos químicos o mecánicos. En estabilizaciones con el uso de químicos, se ha podido concluir que estos sirven como un agente modificante o cementante. Mientras que en una estabilización mecánica, se consigue al mezclar suelos de diferentes graduaciones con el objetivo de obtener un solo suelo que cumpla los requisitos mínimos de diseño. En una obra, se debe analizar económicamente cual es la mejor opción tomando en cuenta las ventajas y desventajas de cada método estabilizante existente.

El problema de estabilización de suelos viene desde alrededor 5000 años atrás, donde los primeros métodos estabilizantes utilizados fueron con el uso de puzolanas o de cal. Por lo que ahora se utiliza la estabilización de suelos para la construcción de vías, la conservación de materiales, protección de inversiones y mejoramiento vial. Para todos estos casos, el suelo natural no es el adecuado o no cumple con los parámetros principales para la obra, por lo que su tratamiento es importante.

Últimamente el conseguir el agregado adecuado se ha vuelto muy complicado por las nuevas normas de impacto ambiental y porque han aumentado las zonas de reserva natural. Esto lleva a que el ingeniero deba encontrar nuevos materiales para elaborar la vía, y debe siempre tomar en cuenta el factor económico en su decisión. Gracias a estas normas, el uso de aditivos como estabilizantes es muy importante como un reemplazo de agregados necesarios para la construcción de la vía.

La estabilización de suelos es considerada una alternativa de diseño, por lo que es necesario siempre tener en mente el objetivo del proceso de estabilización. Algunas de las razones, sin importar el método estabilizante, para el uso de estabilizantes son:

- Proporciona una mejor resistencia para obras civiles.
- Mejora la trabajabilidad, resistencia y durabilidad.

- Reduce la cantidad de volumen y daños producidos por heladas.
- Mejora el rendimiento y aumenta a largo plazo resistencia a cargas.
- Controla el polvo y la humedad.

Estos razones mejoran la durabilidad y el costo de la capa de pavimento a utilizarse utilizando la adecuada estabilización.

Para que un método estabilizante funcione a la perfección, se debe evaluar y ensayar bien el sistema de pavimentación para determinar cómo influyen factores como drenaje, durabilidad y resistencia. Para escoger un tipo de estabilizante, es necesario conocer las características del suelo por lo que ensayos previos hechos en laboratorios son necesarios no solo para conocer que estabilizante a utilizar, sino la cantidad también. El proceso en el cual el aditivo estabilizante cumple su función depende de la naturaleza de el mismo y como interactúa con el suelo al estabilizarlo. Estos procesos se lo categoriza de de la siguiente manera:

- 1) Activo- El estabilizante produce una reacción química con el suelo o el agregado.
- 2) Pasivo- El estabilizante no produce una reacción química; solo afecta físicamente.
- 3) Intermedia- El estabilizante produce una reacción química con el mismo y forma una unión física con el suelo o el agregado.

1.1.1. Suelo

El suelo es uno de los materiales más importantes en el campo de la ingeniería civil ya que todas las cargas expuestas a cualquier tipo de estructura culminan y se disipan en el suelo. Se puede categorizar al suelo como un agregado de partículas orgánicas e inorgánicas con una organización definida y con propiedades que varían vectorialmente. Este representa a todo tipo de material terroso, desde cualquier tipo de relleno previamente realizada hasta areniscas parcialmente cementadas. En Ingeniería Civil, queda excluido de la categorización de suelos las rocas sanas, ígneas o metamórficas y sedimentos altamente cementados que no se ablanden o desintegren gracias a la acción de la intemperie.

El intemperismo, da a lugar a dos tipos de suelos que son los residuales y transportados. Los suelos residuales son los suelos que permanecen sobre la roca la cual se deriva, y un suelo transportado son los que no permanecen en su zona, sino son removidos ya por agentes geológicos y redepositados en otras zonas generando estratos en lugares sin relación directa a ellos. Los principales agentes geológicos son los glaciares, el viento, los ríos, los mares y las fuerzas de gravedad.

Con respecto a los suelos residuales, sus perfiles o formación se basan en la meteorización y en el conjunto de estructuras heredadas. La meteorización es la unión de materiales con distintas propiedades formándose gracias al ataque mecánico y descomposición química. Las estructuras heredadas son la mezcla de diaclasas, exfoliaciones, juntas, grietas, fallas y otros defectos estructurales que heredan de la roca original. El suelo transportado, por lo general, queda descrito por un perfil estratigráfico que resalta como fue su colocación y el espesor del respectivo estrato.

1.1.1.1. Suelos Finos

Los suelos considerados finos son los también llamados limos o arcillas. Los limos son partículas comprendidas entre 0.075mm y 0.002mm. Estos tienen como característica la retención de agua y con ella, ellos forman una pasta nombrada limo-agua. Si esta pasta se coloca sobre la mano, al golpearla suavemente abajo se puede observar como el agua exuda sin problema alguno.

Las arcillas, uno de los tipos de suelos considerado como que tienen por característica principal tener un tamaño menor a 0.002mm. Se constituyen de numerosos minerales pero basándose principalmente de silicatos, formándose gracias a la descomposición química de las rocas ígneas y metamórficas. Con respecto a su comportamiento mecánico, las arcillas son afectadas según su estructura en general y de su constitución mineralógica. Como son constituidas generalmente por silicatos, su estructura es cristalina definida cuyos átomos se disponen en láminas de tipo silícica y aluminíca.

La lamina silícica, está representada por un átomo de silicio y de cuatro de oxígenos, formando un tetraedro los cuales se agrupan en unidades de hexagonales con un átomo de oxigeno sirviendo como nexo entre ellos. La lamina aluminíca está formada por octaedros

dispuestos con un átomo de aluminio en el centro y seis de oxígeno a su alrededor. En esta lamina, el oxígeno es el átomo que sirve de nexo entre diversos octaedros que forman la respectiva retícula.

Observando la estructura reticular, los minerales de arcilla se pueden categorizar en tres grupos que son: caolinitas, montmorilonitas e ilitas. Las caolinitas tienen como característica la firme unión entre sus retículas, con esto impiden la penetración de moléculas de agua dándole una característica de estabilidad en presencia del agua. Las arcillas montmorilonitas en cambio tienen una débil unión entre las retículas del mineral, causando una fácil penetración de las moléculas de agua, causando un incremento en el volumen de sus cristales ocasionando físicamente una expansión, dándole una característica de inestabilidad. Las arcillas ilitas tienen una estructura similar a las arcillas montmorilonitas, pero internamente su constitución tiende a formar grumos de materia el cual reducen el área expuesta al agua con respecto a su volumen causando una menor expansividad que las montmorilonitas.

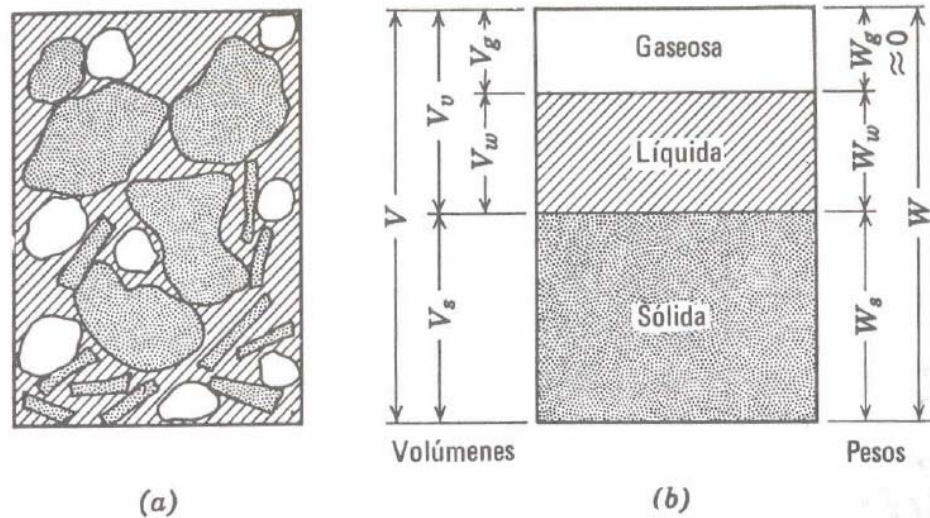
En suelos de granos finos, las fuerzas de gravitación no predominan en el comportamiento mecánico e hidráulico. En cambio se encuentran fuerzas electromagnéticas debido a la relación de área a volumen que generalmente alcanzan valores de consideración y que desarrollan sobre la superficie estas fuerzas. esta actividad sucede en partículas menores a dos micras (0.002 mm). Esto se da porque las partículas de la superficie son de carga negativa, y su intensidad de carga es dada por su estructuración y composición de la arcilla. Con esta carga, ella atrae a iones positivos del agua y a cationes de diferentes elementos químicos. Esto produce que cada partícula de la arcilla se rodee de una capa de moléculas de agua y que se ligan a su estructura.

Con respecto a la plasticidad, cuando un suelo arcilloso se mezcla con agua, reacciona como un semilíquido y al secarse gradualmente, este se comportará como un suelo plástico, semisólido pero siempre tomando en cuenta la cantidad de humedad que tenga. Esta característica de plasticidad es propia de los suelos finos, ya que los suelos granulares no tienen la capacidad de retener agua y no reaccionan a la presencia de agua.

1.1.1.2. Principales Propiedades de los Suelos

1.1.1.2.1. Estabilidad Volumétrica

El suelo se forma de varias fases diferenciadas que son la líquida, gaseosa y sólida. En el gráfico a continuación Figura 2, se muestra a la izquierda como se encuentran estas tres fases en su estado natural (a), mientras que en la derecha se encuentran separadas con el fin de demostrar su contenido fácilmente (b).



Las abreviaciones del gráfico significan los siguientes conceptos:

V : *Volumen total del suelo*

V_s : *Volumen ocupado por partículas de suelo*

V_w : *Volumen ocupado por líquido (agua)*

V_g : *Volumen ocupado por fase gaseosa (aire)*

V_v : *Volumen ocupado por los vacíos (fase líquida + fase gaseosa)*

W : *Peso total de la muestra de suelo*

W_s : *Peso de las partículas de suelo*

W_w : *Peso de la fase líquida*

W_g : *Peso de la fase gaseosa*

Con los siguientes términos y análisis de la muestra de suelo se obtienen las siguientes expresiones:

$$\text{Índice de huecos o poros:} \quad e = \frac{V_v}{V_s}$$

$$\text{Porosidad:} \quad n = \frac{V_v}{V}$$

$$\text{Grado de saturación:} \quad S = \frac{V_w}{V_v}$$

Relaciones en peso:

$$\text{Humedad:} \quad w = \frac{W_w}{W_s}$$

$$\text{Peso específico del suelo:} \quad \gamma_s = \frac{W_s}{V_s}$$

$$\text{Peso específico del agua:} \quad \gamma_w = \frac{W_w}{V_w}$$

$$\text{Peso específico seco} \quad \gamma_d = \frac{\gamma_s}{1 + e}$$

Densidad o compacidad relativa es una magnitud que sirve para caracterizar la compacidad de un suelo granular.

Conociendo estos términos y relaciones se pueden analizar cómo afecta la humedad generalmente a suelos considerados expansivos. En estos suelos, lo que se intenta hacer es cambiar características volumétricas de un suelo expansivo a un suelo rígido o granular, ocasionando que sus fuerzas de cohesión internas resistan las presiones exteriores transmitidas al interior del suelo cargado. Por lo que un estabilizante químico o térmico se utiliza para controlar su expansividad, pero se ha demostrado que a mayores profundidades, los térmicos dan mejores resultados. Es recomendable también, para arcillas expansivas, solo estabilizar la parte superior del mismo con el objetivo de reducir costos. Solo estabilizar la parte superior, controla su expansividad siempre y cuando este sea balanceado correctamente con el fin de que la presión ejercida por la expansión no produzca daños.

1.1.1.2.2. Resistencia Mecánica

La característica principal para la pérdida de resistencia mecánica de los suelos es según su contenido de materia orgánica por lo que los suelos orgánicos son pésimos a la resistencia.

La compactación es la mejor forma de mejorar la resistencia mecánica y de por si mejorando la estabilidad. Se debe tomar en cuenta que una mayor intensidad de compactación no significa que se obtendrán mayores valores de resistencia mecánica. Se debe realizar ensayos y estudios de cada suelo con el fin de conocer el nivel de energía requerida para obtener la mejor resistencia del suelo.

Las formas de estabilización más utilizadas para mejorar la resistencia de los suelos son las siguientes:

- Compactación
- Vibroflotación
- Precarga
- Drenaje
- Estabilización mecánica con mezclas de otros suelos
- Estabilización química con cemento, cal o aditivos líquidos

1.1.1.2.3. Permeabilidad

Debido a las fuerzas hidrostática que se produce gracias a la gravedad, la presión aplicada exteriormente a las partículas y debido a la formación de hielo en sí, dan como resultado cambios en la humedad respectiva del suelo. El tiempo y velocidad de cambio de humedad depende según las magnitudes de las fuerzas descritas junto a la resistencia del suelo dependiendo de ellos para permitir que pase el agua, también llamado este efecto como permeabilidad. Otros aspectos que afectan la permeabilidad del suelo son el drenaje del suelo, sus respectivas propiedades de consolidación y su susceptibilidad a los daños causadas por las heladas.

El coeficiente de permeabilidad saturada de los suelos "k", definido también como la velocidad de flujo por unidad de gradiente hidráulico, considerando esta la velocidad del agua sobre el área total del suelo produciendo el flujo. El gradiente hidráulico "i" y el área transversal de una columna representada por A, descritas en la Ley de Darcy, establece la velocidad de flujo sobre un suelo saturado. Describe que la cantidad que fluye a través de una columna dada en una unidad de tiempo es proporcional al área de la columna y el gradiente hidráulico, representado por la siguiente ecuación:

$$Q = k \cdot i \cdot A$$

El coeficiente de permeabilidad depende de la granulometría del suelo y de su estructura interna de él. Por lo que es necesario realizar el ensayo de permeabilidad de muestras inalteradas para conocer su coeficiente. Es necesario conocer también la topografía del cual se obtienen las muestras para conocer el flujo respectivo del agua porque permeabilidades verticales son totalmente diferentes a permeabilidades horizontales. Para diseño vial, es muy útil conocer el valor de k para calcular la corriente de agua que se destinará a los drenes con el objetivo de reducir en nivel freático.

Para modificar la permeabilidad de un tipo de suelo, se la puede mejorar con métodos como compactación o inyección. En suelos arcillosos, es muy común el uso de defloculantes como el polifosfato, ayudan a reducir la permeabilidad. Mientras que los floculantes como por ejemplo el yeso o el hidróxido de cal, en cambio aumentar el valor de su permeabilidad.

1.1.1.2.4. Durabilidad

En la durabilidad, se encuentran todos los factores y conceptos sobre la resistencia a la intemperie, a la erosión y a la abrasión causada por el tráfico. Estos daños por lo general se encuentran en las bases cercanas a la capa de rodadura o a la superficie. Sin importar el estabilizante, este afecta a todo tipo de suelo, y por lo general su baja durabilidad se obtiene debido a fallas en la construcción del mismo o un mal diseño. Un ejemplo de un agente que afecta a suelos arcillosos son la susceptibilidad de los suelos arcillosos estabilizados a la presencia de sulfatos. Para conocer su durabilidad, es necesario realizar ensayos en campo y en laboratorio para observar y analizar su comportamiento a diferentes escenarios y analizar su capacidad de respuesta concluyendo en su durabilidad.

En muchos casos, utilizar un método estabilizante en un suelo puede perjudicar sus características principales por lo que es necesario siempre realizar ensayos para todo tipo de suelos. Esto lleva a que constructores solo utilicen un tipo de estabilizante ya que están acostumbrados a su uso y a su reacción en el suelo, o que dependiendo el suelo tengan un estabilizante preferido. Los ensayos de durabilidad fueron creados por la Portland Cement Association of America, y estos detallados específicamente en sus manuales, describen como ensayar suelos estabilizados con cemento tomando en cuenta la humedad óptima.

1.1.1.2.5. Compresibilidad

La compactación de un suelo ayuda modificando la compresibilidad del suelo mejorando su estabilidad. Al realizar cualquier método de estabilización y principalmente compactación, estos influyen directamente a la compresibilidad del suelo. En suelos como las arcillas blandas, al recibir carga directa, lo más probable es que sufran un asentamiento considerable. Mientras que en suelos arenosos sobre arcillas blandas, las reacciones a ocurrir al recibir cargas no son tan fáciles de percibir. Generalmente en estos casos suceden asentamientos no previstos, por lo que la compresibilidad de los estratos especialmente los de arcilla.

Gracias a la fricción y adherencia existentes entre estratos confinados de arcilla, estos impiden la expansión en sentido horizontal. Para calcular el asentamiento causado por la compresión de los estratos arcillosos, se pueden realizar ensayos sobre muestras confinadas para simular su reacción del suelo en obra.

Es muy importante el estudio de la compresibilidad en estratos arcillosos porque son causantes de los asentamientos progresivos. La compresibilidad está directamente relacionado con la resistencia al corte, aumentando uno se mejora el otro. Si se tiene un estrato de arcilla considerado continuo, el asentamiento obtenido es proporcional a la presión media del estado de carga sometido. Los ensayos de consolidación requieren de mucho tiempo y de trabajo por lo que no es aconsejable realizar muchas muestras. Se debe tener cuidado con los suelos arcillosos al analizar su compresibilidad porque estos suelos no son homogéneos, por lo que sus resultados varían según su composición, por lo que se debe analizarlos bajo relaciones estadísticas de compresibilidad y según las propiedades del material.

1.1.2 Cloruro de Calcio

El cloruro de calcio o cloruro cálcico se obtiene como un subproducto en forma de agua con cloruro de calcio en altas concentraciones en ciertos procesos industriales, pero también se la puede obtener de pozos y arroyos naturales, así como en canteras o minas; la forma más común de obtener el cloruro de calcio es en la elaboración de carbonato de sodio mediante el método Solvay.

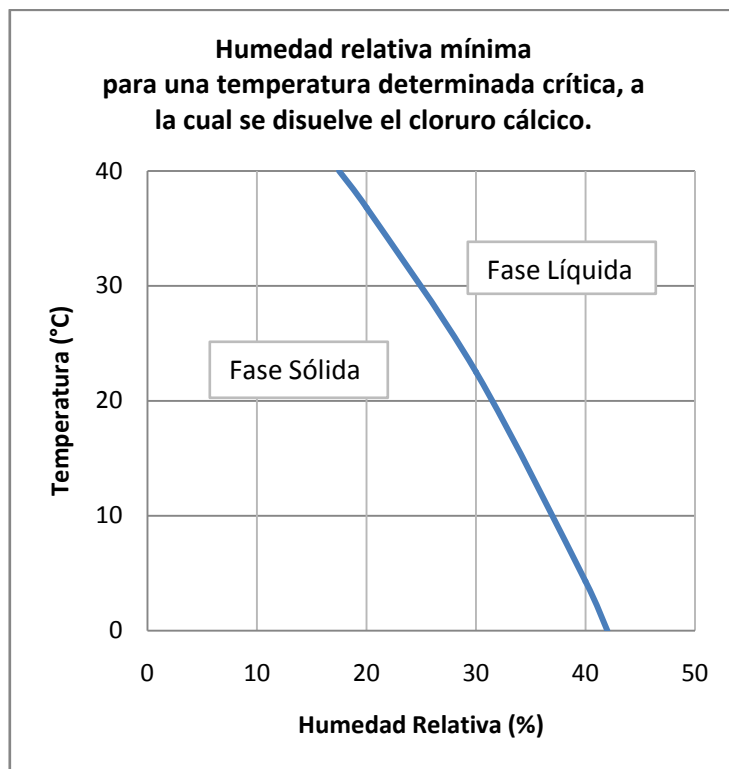
Al cloruro de calcio se lo puede encontrar en diferentes grados de hidratación o pureza, es decir, en combinación con otras sales. El uso de cloruro de calcio basándose en la hidratación de éste depende de los precios y los gastos de transporte, cuando se tiene un costo de transporte elevado se debe analizar el uso de cloruro cálcico sin hidratar para que estos costos se reduzcan. El grado de pureza no influye en el uso del cloruro ya que las impurezas más comunes son el cloruro de sodio (ClNa) y el cloruro magnésico (Cl_2Mg), estas dos sales producen efectos parecidos al cloruro cálcico en el suelo.

1.2. Definiciones Generales

1.2.1. Estabilización con Cloruro de Calcio

El cloruro de calcio se ha usado para el control de polvos desde inicios del siglo XX, en la década de 1930 se empezaron a realizar investigaciones sobre sus efectos en el suelo con lo que se logró observar que además de controlar el polvo también aumentó la densidad al compactar y la estabilidad de la carretera en general. El cloruro de calcio puede disolverse absorbiendo la humedad de la atmósfera cuando la humedad relativa de aire está por encima de ciertos valores.

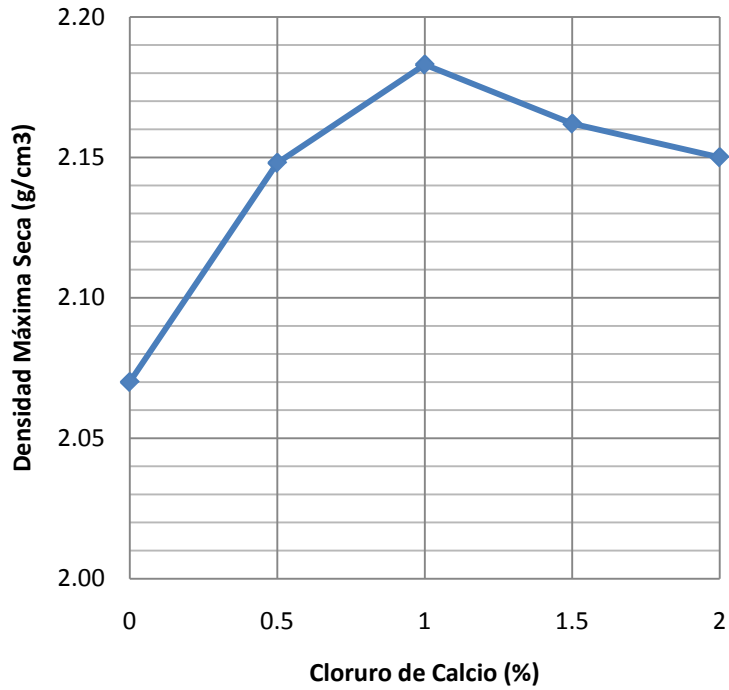
Los suelos que mejor respondían al tratamiento eran las compuestas de materiales de diversos tamaños, incluyendo un pequeño porcentaje de finos ligeramente plásticos, formando una granulometría bien graduada.



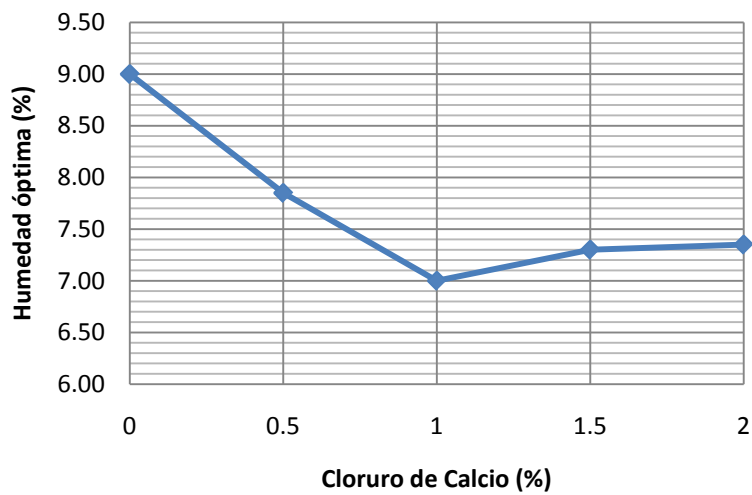
Las moléculas de una solución de cloruro se evaporan más lentamente debido a que la presión de vapor es más baja que la del agua, es por esto que funciona para controlar el polvo. La propiedad del cloruro de retener agua de la solución es un factor positivo puesto que al evaporarse el agua con más dificultad, se necesitan de menos pasadas con el tanque regador para mantener la humedad óptima para el esfuerzo de compactación usado. Para un mismo esfuerzo de compactación los suelos tratados con cloruro de calcio suelen producir una densidad seca mayor.

Con el uso de cloruro de calcio se alarga el periodo de tiempo durante el cual se puede compactar a la humedad óptima, reduciéndose la cantidad de agua a aplicar durante la compactación. Esta capacidad del cloruro de calcio de mantener la humedad es sumamente importante en la compactación de suelos granulares, en donde el control de humedad es el factor más crítico.

Variaciones en la densidad máxima Proctor de un suelo bien graduado (A-2-4 de la clasificación A.A.S.H.O.) tratado con cloruro cálcico.



Variaciones en la humedad óptima de un suelo bien graduado (A-2-4 de la clasificación A.A.S.H.O.) tratado con cloruro cálcico.



Con el cloruro de calcio se puede llegar a una densidad determinada con un número menor de pasadas con el compactador. Este aumento en la densidad es causado por la modificación en el estado de dispersión de las partículas arcillosas que se unen más fácilmente a las partículas gruesas para que cambien de posición durante la compactación.

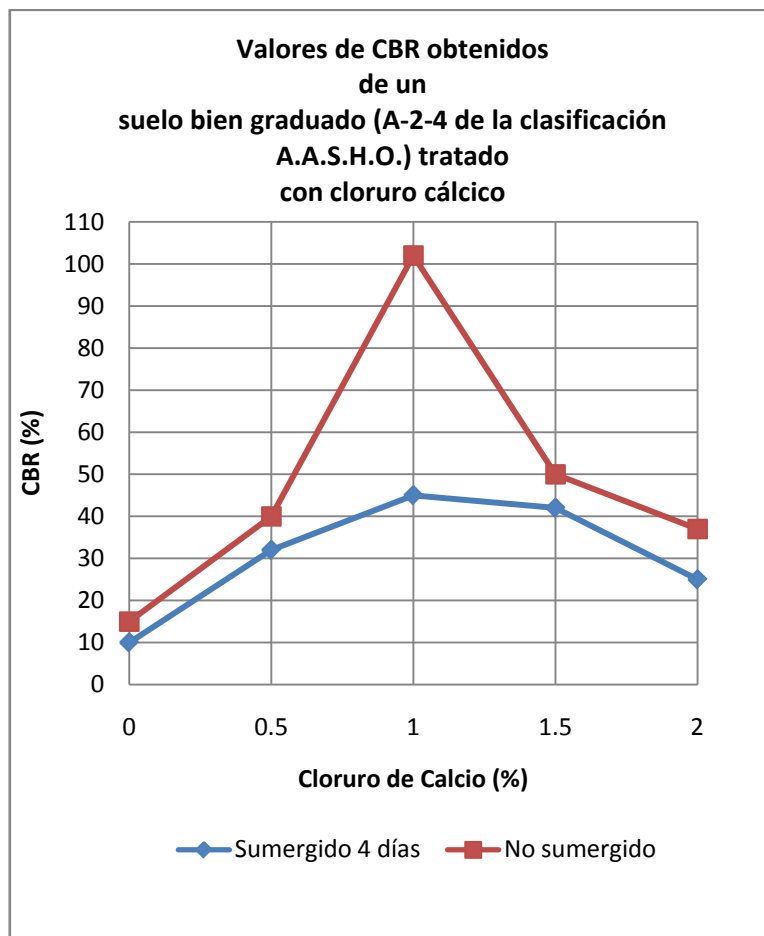
Una solución con cloruro de calcio se congela a menor temperatura y de la concentración de esta sal depende la temperatura de congelación, esto es favorable puesto que los suelos tratados con este tipo de solución son más resistentes a la congelación y descongelación, debido a que estos se encuentran helados por menor tiempo.

Los suelos tratados con cloruro de calcio sufren una densificación que se le conoce como curado ya que este proceso ocurre luego de la compactación; este proceso puede estar relacionado con la disminución de las películas de agua que rodean a las partículas del suelo debido a la pérdida de parte de la humedad estabilizada. La pérdida de humedad durante el curado favorece también la concentración de la solución, aumentando la tensión superficial de la concentración, lo que también puede ayudar al incremento de la densidad. Este aumento en la densidad durante el periodo de curado contribuye con un 90 % en la estabilidad de los suelos tratados con cloruro.

Otras de las propiedades del cloruro cálcico es que brinda iones de calcio que pueden ser intercambiados por otros en la superficie de las partículas de arcilla, mejorando la plasticidad de las arcillas montmoriloníticas y reduciendo el hinchamiento de las mismas cuando absorben agua.

El cloruro cálcico se puede también añadir a los suelos de alta plasticidad cuando se quiere sustituir iones de calcio por iones de sodio en un intercambio de cationes, ya que los iones de calcio son adsorbidos con preferencia en la superficie de las partículas de arcilla. Los iones de calcio están rodeados de una corteza de agua más pequeña que la de iones de sodio, con lo que al existir el intercambio de iones hay una reducción en la plasticidad de los suelos arcillosos. El límite líquido disminuye y el límite elástico aumenta, por lo tanto el índice de plasticidad disminuye, con esto la plasticidad del suelo se ve alterada.

Los iones de calcio también reducen el efecto perjudicial que los suelos ácido-orgánicos, producen en el suelo-cemento. Añadiendo cloruro de calcio al suelo, antes de agregar el cemento, los iones de calcio adicionales equilibran la demanda de los ácidos orgánicos, impidiendo que estos reaccionen con el calcio que existe en el cemento, retardando o impidiendo la hidratación.



Para obtener el mayor beneficio del tratamiento con cloruro de calcio se requieren pocas cantidades de este producto. La cantidad de cloruro a añadir es generalmente entre 3 y 10 kilogramos por tonelada métrica de suelo a tratar para la construcción de cimientos de pavimentos, en aplicaciones superficiales se puede emplear 0,5 kilogramos por metro cuadrado, repitiendo la aplicación cada vez que se observe excesiva sequedad en la superficie de la carretera, y siempre la humedad relativa sea mayor a la crítica para la temperatura del pavimento durante parte del día.

1.2.1.1 Limitaciones del Empleo de Cloruro de Calcio

Para la utilización de este aditivo se recomienda el uso en suelo bien graduados y que cumplan con las recomendaciones de la Norma D 1242 de la ASTM o la M147 de la AASHTO. Para suelos diferentes de los anteriores se deben realizar ensayos previos de laboratorio para determinar si el cloruro aumenta la densidad del suelo.

Uno de los principales problemas de su empleo es que al disolverse fácilmente en agua puede ser arrastrado por las aguas de lluvia; es por esto que cuando se lo utiliza para controlar el polvo se debe repetir el tratamiento periódicamente.

Cuando se usa en tratamientos superficiales, parte del cloruro se puede acumular en ciertas partes de los vehículos que transitan por carreteras estabilizadas. Como el cloruro es bastante higroscópico, mantiene la humedad allí donde se acumula. Esto puede aumentar la corrosión de las partes metálicas de los vehículos. Los constructores de automóviles están modificándolos para disminuir la posible acumulación de las sales presentes en la superficie de los caminos estabilizados y sobre todo de las sales que se utilizan para acelerar el deshielo en épocas de nevadas.

1.2.1.2 Construcción con Cloruro de Calcio

Para trabajos de estabilización de suelos es necesario utilizar maquinaria de diferentes tipos. Sin embargo, en esta necesidad radica la economía de los métodos de estabilización de suelos, pues el realizar las dosificaciones, mezclado, distribución, compactación, etc. a mano, sin maquinaria, sería una tarea muy costosa aun en los países en los que la mano de obra es barata. Además, el producto final trabajado a mano sería de una calidad tan inferior que no se podría construir pavimentos duraderos con él.

Se pueden usar varios tipos de maquinarias en cada una de las etapas de la estabilización de suelos, aunque se debe saber que algunos tipos de maquinarias producen material de mejor calidad, más uniforme o son más económicos de manejar que otros.

Cuando se usan plantas estacionarias la dosificación y mezcla de los materiales es más perfecta, pero estas plantas estacionarias solo pueden utilizarse en canteras que producen áridos con la granulometría deseada mezclando otros áridos de tamaños diferentes.

La incorporación del cloruro en plantas estacionarias se puede realizar de un modo automático utilizando dosificadores y cintas transportadoras existentes en la planta o adaptando dosificadores especiales para aditivos. Las plantas que producen suelo tratado con productos estabilizadores deben estar dotadas de un mezclador de paletas para producir una mezcla uniforme.

La distribución del cloruro en el campo para mezclas in-situ varía según como se emplee el cloruro en estado sólido o en una solución acuosa. Existen equipos especiales para la distribución en estado sólido que se montan en la parte posterior de camiones con caja volquete. Se puede distribuir

también a pala desde un camión rodando a poca velocidad. La distribución del cloruro en solución acuosa puede hacerse utilizando los camiones cisterna.

El mezclado del cloruro con los agregados se puede efectuar in situ con rotomezcladores de varias pasadas o con los que requieren solamente una pasada, estos rotomezcladores producen una mezcla muy uniforme y son los que se recomienda usar. Si no se tiene rotomezcladores, se puede realizar un mezclado bastante uniforme con el uso de motoniveladoras.

La compactación no presenta dificultades ya que todo constructor dispone de máquinas compactadoras. Si el cloruro de calcio se utiliza para estabilizar suelos que se desmenuzan fácilmente, suelto, los rodillos de pata de cabra no podrán compactar este material. La combinación de compactadores de neumático, de ruedas planas de acero, vibradores, etc, y el número de pases con cada compactador depende de las condiciones de trabajo, tipo de suelo y compactadores disponibles. La experiencia del ingeniero es la que debe dictar el orden de empleo de cada compactador y el número de pasadas para obtener la densidad deseada de la manera más económica.

Después de la compactación se recomienda dejar el pavimento estabilizado que se cure por un periodo de dos a siete días, dependiendo de las condiciones atmosféricas del lugar.

1.2.1.3 Conservación de las Capas estabilizadas con Cloruro de Calcio

La conservación de capas de base o sub-base tratadas con cloruro de calcio en donde exista una capa de rodadura es nula puesto a que en este caso la conservación se reduce a mantener la capa de rodadura en buen estado.

En tratamientos superficiales es necesaria la conservación si se desea prolongar la vida del pavimento. Se debe aplicar el tratamiento de cloruro cálcico cada vez que se note una excesiva sequedad en la superficie. El número de pasadas con motoniveladora en carreteras tratadas con cloruro de calcio es menor que en carreteras sin tratar, pero no se debe descuidar de dar una pasada con la motoniveladora cuando la carretera lo necesite, especialmente después de una lluvia.

CAPÍTULO 2

CONCEPTOS DE LOS ENSAYOS DE LABORATORIO

2.1 Obtención del Suelo en el Campo

2.1.1 Pozo a Cielo Abierto. Cuando este método se debe usar se puede considerar como el más preciso para conocer las características del suelo, consiste en excavar un pozo de dimensiones suficientes para que una persona pueda bajar y examinar los diferentes estratos de suelo en su estado natural, así como darse cuenta de las condiciones precisas referentes al agua contenida en el suelo. Este tipo de excavación no puede realizarse a grandes profundidades debido a la dificultad de controlar el flujo de agua bajo el nivel freático; naturalmente que el tipo de suelo de los diferentes estratos atravesados también influye grandemente en los alcances del método en sí. La excavación se encarece mucho cuando sean necesarios ademes y haya excesivos traspaleos a causa de la profundidad.

Se pueden tomar muestras alteradas e inalteradas. Las muestras alteradas son simplemente porciones de suelo que se protegen contra pérdidas de humedad introduciéndolas en fundas de plástico. Las muestras inalteradas deben tomarse tallando la muestra en forma de cubo y debe protegerse para pérdidas de humedad envolviéndola en tela con parafina.

2.2 Ensayos y Características de los Materiales Cohesivos

2.2.1 Clasificación del suelo (S.U.C.S. y A.A.S.H.T.O.)

Sistema Unificado de Clasificación de Suelos (S.U.C.S.)

Norma: ASTM D-2488

Este sistema fue planteado por Arturo Casagrande como una modificación y adaptación más general a su sistema de clasificación propuesto en el año 1942 para aeropuertos.

El S.U.C.S. divide a los suelos en tres grupos diferentes: suelos de grano grueso, suelos de grano fino, suelos orgánicos.

- Suelos de Grano Grueso: Estos suelos están compuestos de partículas con textura granular compuestas de fragmentos de roca y mineral. De acuerdo al sistema de clasificación unificado estas partículas tienen un tamaño comprendido entre 75 y 0.075 mm, que corresponde al tamaño de la grava y arena. Aunque en su mayoría contienen partículas mayores a 0.075 mm también contienen material fino en pequeña cantidad, estos suelos tienen mayor resistencia a la erosión.

- Suelos de Grano Fino: Los limos inorgánicos, que constituyen la porción gruesa de la fracción microscópica de los suelos, tienen poca o ninguna plasticidad o cohesión. Las variedades más plásticas que contienen una cantidad apreciable de partículas en forma de laminillas se llaman limo plástico. La arcilla está formada por un agregado en que predominan los minerales de tamaño microscópico o submicroscópico en forma de laminillas cristalinas. Se caracteriza por tener las propiedades típicas de los coloides, como son la plasticidad, la cohesión y la facultad de absorber iones.

- Suelos Orgánicos: Cantidades muy pequeñas de materia orgánica pueden tener influencia importante en las propiedades físicas de los suelos. La mayor parte de los suelos orgánicos son más débiles y compresibles que los suelos que posean la misma composición mineral, pero que carezcan de materia orgánica. La presencia de una cantidad apreciable de materia orgánica puede reconocerse usualmente por el color gris oscuro a negro que tiene el suelo y por el olor de vegetación podrida.

Este sistema utiliza los siguientes símbolos para identificar los suelos:

Símbolo	G	S	M	C	O	Pt	H	L	W	P
Descripción	Grava	Arena	Limo	Arcilla	Orgánico	Turba y suelos altamente	Alta Plasticidad	Baja Plasticidad	Bien Graduado	Mal Graduado

American Association of State Highway Transportation Officials (AASHTO)

Es la denominación al sistema de clasificación de suelos determinado y confeccionado por el Departamento de Caminos Públicos de USA (Bureau of Public Roads) que en sus inicios era llamado AASHO. Este sistema clasifica los diferentes tipos de suelos en 7 grupos, cada uno de estos grupos está determinado por ensayos de laboratorio, granulometría, límite líquido e índice de plasticidad. Estos ensayos determinan el índice de grupo, número que clasifica a cada suelo el que está determinado por la siguiente formula empírica.

$$IG = (F - 35) (0.2 + 0.005 (LL - 40)) + 0.01 (F - 15) (IP - 10).$$

Donde:

F= Porcentaje en peso que pasa por el tamiz #200 del material, expresado en número entero.

LL= Límite Líquido.

IP= Índice de Plasticidad.

El Índice de Grupo se expresa en números enteros y si es negativo se expresa igual a 0.

Este tipo de clasificación es más usada para definir la calidad de suelos empleados para la confección de terraplenes, material de sub-rasante, sub-bases y bases. Luego de obtenido el Índice de Grupo con la formula anterior, se ingresa a la siguiente tabla para determinar a que grupo pertenece el suelo.

SISTEMA DE CLASIFICACIÓN DE SUELOS AASHTO											
Clasificación	Materiales granulares							Materiales limoso arcilloso			
general	(35% o menos pasa por el tamiz N° 200)							(más del 35% pasa el tamiz N° 200)			
Grupo:	A-1		A-3					A-4	A-5	A-6	A-7
	A-1-a	A-1-b		A-2-4	A-2-5	A-2-6	A-2-7				A-7-5 A-7-6
Porcentaje que pasa:											
Nº 10 (2mm)	50 máx	-	-		-					-	
Nº 40 (0,425mm)	30 máx	50 máx	51 mín		-					-	
Nº 200 (0,075mm)	15 máx	25 máx	10 máx	35 máx				36 mín			
Características de la fracción que pasa por el tamiz Nº 40											
Límite líquido	-		-	40 máx	41 mín	40 máx	41 mín	40 máx	41 mín	40 máx	41 mín (2)
Índice de plasticidad	6 máx		NP (1)	10 máx	10 máx	11 mín	11 mín	10 máx	10 máx	11 mín	11 mín
Índice de Grupo	0	0	0	0	0	4 máx	4 máx	8 máx	12 máx	16 máx	20 máx
Constituyentes principales	Fragmentos de roca, grava y arena		Arena fina	Grava y arena arcillosa o limosa				Suelos limosos		Suelos arcillosos	
Características como subgrado	Excelente a bueno							Pobre a malo			

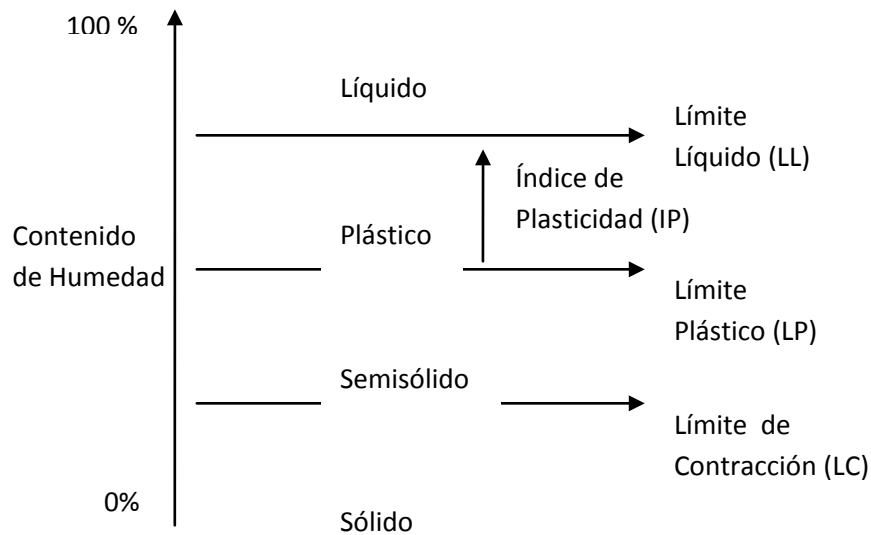
2.2.1.1 Granulometría.

La granulometría de un suelo es la división del mismo en diferentes fracciones, seleccionadas por el tamaño de sus partículas componentes; las partículas de cada fracción se caracterizan porque su tamaño se encuentra comprendido entre un valor máximo y un valor mínimo.

La separación en fracciones se hace por medio de medición con mallas, este análisis mecánico es el usado principalmente en suelos gruesos y su principio consiste en ordenar en forma descendente una serie de mallas de aberturas sucesivamente menores. Para los suelos que contienen partículas finas que deben ser separados de las partículas gruesas y que no pueden ser separados por un proceso mecánico de tamizado, se hace un prelavado del suelo para remover las partículas finas de las gruesas, el material que queda retenido en el tamiz #200 durante el proceso de lavado es secado y tamizado. La parte de suelo que pasa por el tamiz #200 es analizado por el ensayo del hidrómetro; este ensayo está basado en la ley de Stokes.

2.2.1.2 Límites de Atterberg

También conocidos como límites de consistencia se basan en el concepto de que en un suelo de grano fino solo pueden existir 4 estados de consistencia según su humedad, siendo estos estados: Solido, Semisólido, Plástico y Líquido



En el esquema se muestra como va variando el estado del suelo a medida que se aumenta el contenido de humedad.

Límite Líquido (LL): Es el contenido de humedad de un suelo cuando pasa de un estado semilíquido a un estado plástico, para la determinación de este porcentaje se utiliza la cuchara de Casagrande.

Norma: ASTM D4318-05

Límite Plástico (LP): Es el contenido de humedad de un suelo cuando pasa de un estado plástico a un estado semisólido.

Norma: ASTM D4318-05

Límite de Contracción: Es el contenido de humedad de tal manera que al existir una reducción del contenido de humedad no haya disminución de volumen de la masa del suelo.

Norma: ASTM D427-05

2.2.2 Gravedad Específica

Norma: ASTM D854

La gravedad específica de un suelo, se define como la relación entre la masa de sólido del suelo o el peso unitario del mismo y el peso unitario del agua para el mismo volumen que ocupan los dos a una temperatura específica ambos parámetros.

También se le conoce con palabras como: peso absoluto, bulk o masa específica. Estas palabras se utilizan dependiendo si uno se refiere a suelos finos o a la masa de los suelos. Suelos finos tienen vacíos permeables e impermeables. Todos los vacíos internos de este tipo se excluyen para la determinación del cálculo del verdadero volumen del suelo, por lo que la gravedad específica obtenida es llamada absoluta o gravedad específica verdadera.

El valor de la gravedad específica es necesario para calcular la relación de vacíos del suelo, utilizado en el ensayo del hidrómetro y también es utilizado para calcular el peso de un suelo. En suelos minerales, la gravedad específica se utiliza también para su clasificación.

2.2.3 Compactación (Proctor Modificado)

Norma: ASTM D1557

Este ensayo consiste en la densificación de los suelos mediante la aplicación de energía mecánica combinando con el contenido de humedad del suelo. Al realizar el ensayo, se encontrará la humedad óptima y con ello la densidad seca máxima que se encuentra cuando menor es la diferencia entre el contenido de agua de compactación y el contenido óptimo.

Obteniendo estos datos, se encuentra el mejor estado del suelo mejorando las propiedades del suelo como resistencia al corte, compresibilidad y permeabilidad. Las causas del mejoramiento de las propiedades se obtienen gracias a la reducción de los asentamientos debido a la disminución de la relación de vacíos, al aumento de la resistencia del suelo y la reducción de la contracción.

2.2.4 CBR (Relación de Soporte California)

Norma: ASTM D1883

El ensayo de CBR en la actualidad es el ensayo más utilizado para el cálculo y diseño de carreteras especialmente en Latinoamérica. Este ensayo fue investigado en el Departamento de Carreteras de California en el año 1929 por los ingenieros T.E Stanton y O.J. Porter.

El objetivo del ensayo CBR es determinar la relación entre el comportamiento de los suelos utilizados generalmente como bases y sub rasantes bajo la capa de rodadura, determinando un índice o valor de CBR y la densidad seca que se puede alcanzar en el campo.

El índice o porcentaje de CBR es una medida el cual representa la resistencia del esfuerzo cortante de un suelo totalmente confinado bajo condiciones de densidad y humedad controlados dentro de un laboratorio. Este valor se obtiene mediante la relación de la carga unitaria necesaria para lograr una profundidad de penetración del pistón dentro de la muestra compactada.

$$CBR = \frac{\text{Carga de Prueba}}{\text{Carga del Pistón}} * 100$$

El CBR, se basa en la relación de carga para una penetración de 2.54 mm (0.1"), pero el verdadero valor de CBR del suelo ensayado es para una penetración de 5.08 mm (0.2"). En los suelos blandos suele suceder que el valor de 0.1" de CBR es mayor que el 0.2", entonces en estos casos se analiza y se escoge el mayor valor de CBR para utilizarlo para el respectivo diseño.

Penetración		Carga Unitaria Patrón		
Mm	Pulgadas	Mpa	kg/cm2	psi
2.54	0.10	6.90	70.00	1000.00
5.08	0.20	10.30	105.00	1500.00
7.62	0.30	13.10	133.00	1900.00
10.16	0.40	15.80	162.00	2300.00
12.70	0.50	17.90	183.00	2600.00

Valores de Carga Unitaria

Con el fin de encontrar el CBR mas critico de un suelo, se debe sumergir las muestras en agua por un tiempo mínimo de 96 horas con el objetivo de encontrar su saturación máxima y se aconseja medir el esponjamiento diariamente para analizar su comportamiento.

2.2.5 Compactación

Norma: ASTM D1557

Es el proceso por el cual las partículas de suelo son obligadas a estar más en contacto las unas con las otras, mediante una reducción del índice de vacíos, empleando medios mecánicos, lo cual se traduce en un mejoramiento de sus propiedades.

La importancia de la compactación de suelos deriva en el aumento de la resistencia y disminución de la capacidad de deformación que se obtiene al someter el suelo a técnicas convenientes, que aumentan el peso específico seco, disminuyendo sus vacíos. Por lo general, las técnicas de compactación se aplican a rellenos artificiales tales como cortinas de presas de tierra, diques, terraplenes para caminos y ferrocarriles, bordes de defensas, muelles, pavimentos, etc.

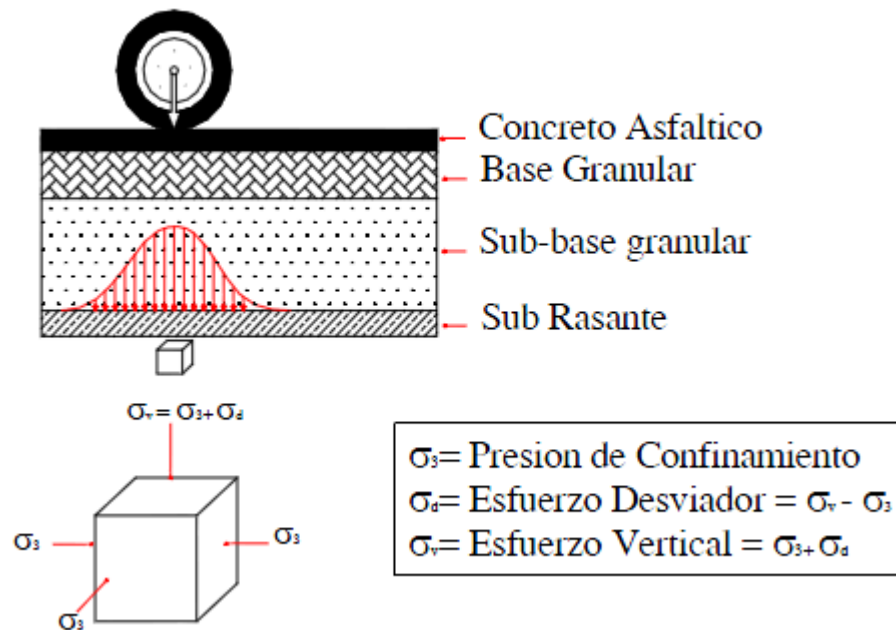
2.2.6 Modulo de Resiliencia

Norma: AASHTO T294-92I

Existe un método de diseño de pavimentos flexibles realizado por la AASHTO el cual se basa en el parámetro de MR (Modulo de Resiliencia) que representa la capacidad de soporte del suelo. Este parámetro se lo encuentra mediante el ensayo de triaxial dinámico el cual somete a pruebas a cargas repetidas.

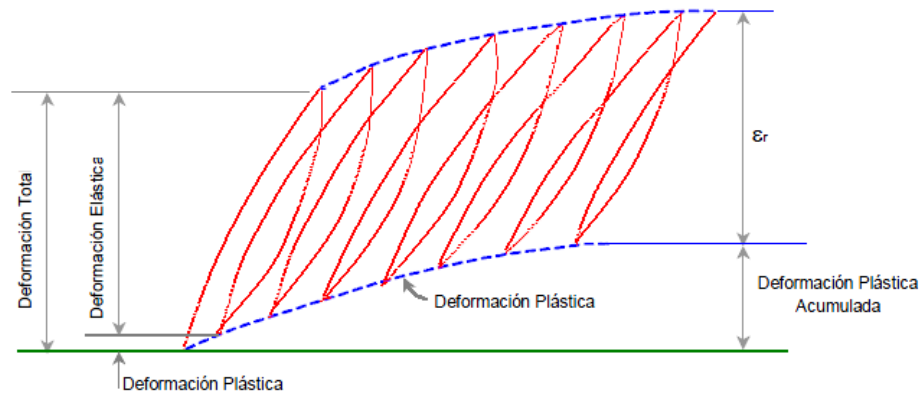
El concepto del modulo de resiliencia proviene sobre el tipo de cargas que recibe las estructuras de pavimentos, y estas son cargas repetitivas. Son cargas dinámicas de corta duración que producen una fatiga e imponen un estado de deformaciones a la estructura del

pavimento en un periodo de tiempo determinado. Las propiedades que afectan son las geomecánicas y dinámicas de los materiales junto al proceso constructivo del mismo.



Estado de esfuerzos provocados a la subrasante

La resiliencia de un material es la capacidad o reacción del mismo cuando la carga impuesta es retirada, entonces este recupera parte de la deformación inducida. El modulo resiliente es la relación del esfuerzo desviador y la correspondiente deformación unitaria recuperada el cual se encuentra en el grafico. Por lo que a las probetas se les someten a una presión de confinamiento σ_3 y un esfuerzo desviador σ_d simulando la carga y descarga producida por el transito. La respuesta típica de este ensayo se demuestra en la grafica a continuación, y con ella matemáticamente se puede definir el modulo resiliente con la siguiente ecuación:



$$M_R(\sigma_3 \sigma_d \epsilon_r) = \frac{\sigma_d}{\epsilon_r} \mid \sigma_3$$

Donde:

M_R = Módulo resiliente

σ_d = Esfuerzo desviador

ϵ_r = Deformación recuperable medida en la dirección axial

En este ensayo se basan en tres factores que son: el estado de tensiones (esfuerzo de confinamiento y esfuerzo desviador), el tipo de suelo y su estructura establecida por el método de compactación y el estado físico del suelo (humedad y densidad controlada)

Existen correlaciones entre el Módulo Resiliente y el valor de CBR, pero se debe tener muy en cuenta que las relaciones estudiadas son realizadas para regiones o tipos de suelos específicos. Por lo que un buen criterio y experiencia es necesario al efectuar la correcta relación para el diseño.

Fórmulas

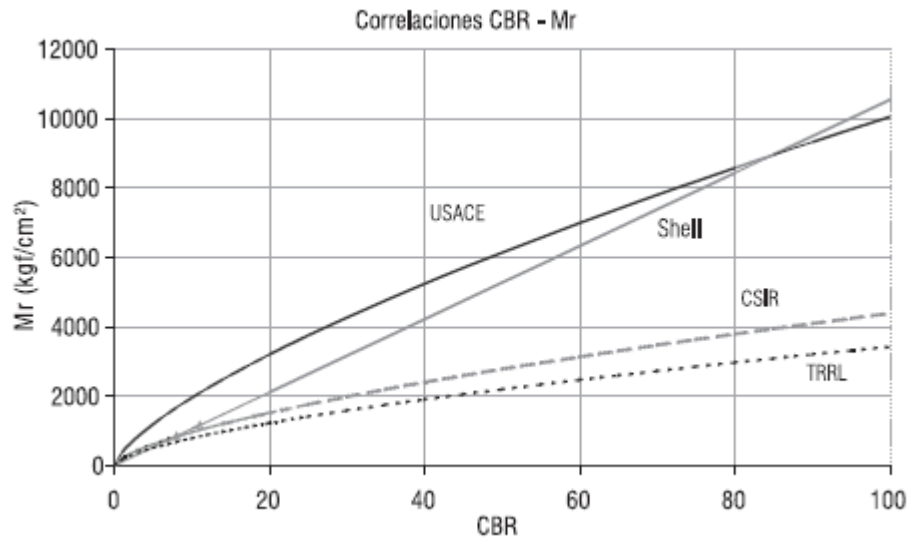
Heukelom

$$M_r(\text{kg/cm}^2) = K * \text{CBR}$$

donde: k=100 para suelos granulares gruesos, k=110 para suelos granulares finos y k=130 para suelos finos plásticos.

Shell	$Mr(psi) = 1500 * CBR$
U.S. Cuerpos de Ingenieros	$Mr(psi) = 5409 * CBR^{0.711}$
CSIR	$Mr(psi) = 3000 * CBR^{0.65}$
TRRL	$Mr(psi) = 2555 * CBR^{0.64}$

En la siguiente tabla, se resume y determina las correlaciones de CBR y MR



Dentro de los suelos finos, existen cuatro categorías que lo determinan las pendientes junto a los módulos de resiliencia y son mejor determinados en la tabla a continuación.

Consistencia	K ₁ (kPa)	K ₂ (kPa)	K ₃	K ₄	M _{Rmax}	M _{Rmin}
Muy blanda	6900	43	1110	0	39000	6900
Blanda	21000	43	1110	178	53000	12600
Media	53000	43	1110	178	85000	32500
Rígida	85000	43	1110	178	117000	52500

Tabla 2-6 Valores típicos de módulo de resiliencia

Donde los valores de K son determinados con el siguiente gráfico.

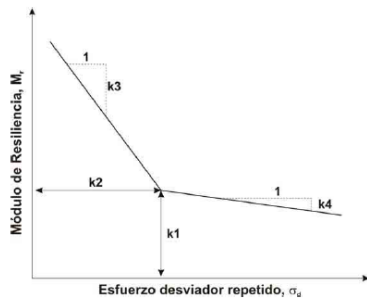


Figura 2-18 Relación general entre módulo de resiliencia y esfuerzo desviador para suelos finos

Esto es una típica reacción de suelos finos, y este demuestra un perfecto comportamiento resiliente. Dentro de los suelos finos, existen cuatro categorías que son Rígida, Media, Blanda y muy Blanda y estas son establecidas por módulo de resiliencia limitadas por las presiones de confinamiento, las cuales son 6.21 psi (42.8 kPa), 12.90 psi (89.0 kPa), 22.85 psi (157kPa) y 32.8 psi (226 kPa) para los cuatro suelos respectivamente.

CAPÍTULO 3

ENSAYOS DE LABORATORIO

3.1 Clasificación de Suelos SUCS y AASHTO

3.2 Límite de Contracción

PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATOLICA DEL ECUADOR

ENSAYO DE LIMITE DE CONTRACCION

NORMA ASTM D-427-61

ABSCISA	0+000	0+500	1+000	1+500	2+000	2+500	3+000	3+500
Mcapsula	21.37	22.79	21.27	21.3	21.28	21.26	22.81	21.38
Mcap+Sw	43.92	41.78	43.42	42.33	45.95	39.36	44.89	45.59
Mcap+Ss	37.31	32.7	35.77	35.41	39.74	30.9	38.33	39.03
Magua	6.61	9.08	7.65	6.92	6.21	8.46	6.56	6.56
Mss	15.94	9.91	14.5	14.11	18.46	9.64	15.52	17.65
W%	41.47	91.62	52.76	49.04	33.64	87.76	42.27	37.17

Rec+S+Mercurio	786.39	786.39	785.47	785.5	786.03	785.86	785.81	784.95
Rec+Mercurio	636.08	705.35	645.59	641.76	616.85	714.92	650.19	621.18
Cap+Mercurio	204.95	205.27	205	204.33	204.81	205.61	205.69	205.5

Vol Cap (cm3)	13.50	13.42	13.51	13.46	13.49	13.56	13.45	13.54
Vol Muestra (cm3)	11.11	5.99	10.34	10.62	12.50	5.24	10.02	12.10
ws %	26.48	16.67	30.89	28.96	28.27	1.54	20.21	29.04
SR	1.43	1.65	1.40	1.33	1.48	1.84	1.55	1.46

ws Límite de contracción
SR Relación de contracción

3.3 Gravedad Específica

PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATOLICA DEL ECUADOR

ENSAYO DE GRAVEDAD ESPECIFICA

NORMA ASTM D-854

ABSCISA	TEMPERATURA °C	K	Ms (gr)	Mmw (gr)	Mmws (gr)	Gs (gr/cm3)
0+000	21.4	0.9997	28.5	664.45	683.38	2.977
0+500	20	1	43	664.77	690.5	2.490
1+000	18.4	1.0003	50.79	664.68	695.27	2.515
1+500	18.1	1.0004	51.82	664.92	695.88	2.485
2+100	18.3	1.0003	50.36	664.9	696.99	2.757
2+500	18.1	1.0004	44.55	664.92	690.61	2.363
3+000	16.8	1.0006	45.86	664.98	692.79	2.542
3+500	17.2	1.0005	49.11	664.95	695.87	2.701

$G_s = (K * M_s) / (M_s + M_{mw} - M_{mws})$

donde:

G_s = Gravedad Específica.

M_s = Masa del suelo.

M_{mws} = Masa del matraz + agua + suelo.

M_{mw} = Masa del matraz + agua.

K = Factor de corrección de acuerdo a la temperatura T del ensayo.

3.4 Compactación

PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATOLICA DEL ECUADOR

ENSAYO DE COMPACTACIÓN

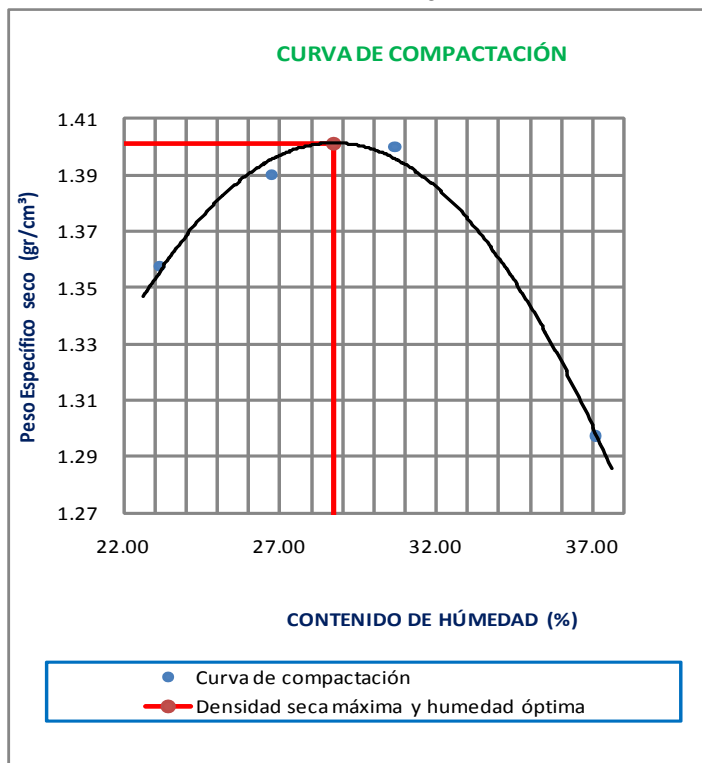
SUELO CH ABS: 2+500
NORMA ASTM D - 1557

PROCTOR MODIFICADO (2700 KN · m/m³)

METODO : A
N° DE CAPAS : 5
PESO MARTILLO : 10 lb.
VOL. DE MOLDE : 944 cm³
N° DE GOLPES POR CAPA : 25
ALTURA DE CAIDA DEL MARTILLO : 457.2 mm.
PESO DEL MOLDE : gr.

N° DE PRUEBA	1		2		3		4	
Peso molde + suelo húmedo (gr.)	5,825		5,943		5,974		5,959	
Peso molde (gr.)	4,247		4,280		4,247		4,280	
Peso suelo húmedo (gr.)	1,578		1,663		1,727		1,679	
Densidad húmeda (gr/cm ³)	1.672		1.762		1.829		1.779	
Peso cap. + suelo húmedo (gr.)	48.90	48.02	44.10	52.45	48.42	44.48	30.82	37.40
Peso cap. + suelo seco (gr.)	43.04	42.57	38.65	45.26	41.95	38.43	27.66	31.98
Peso cápsula (gr.)	17.68	19.04	18.22	18.41	20.85	18.71	18.96	17.67
Contenido de Humedad (%)	23.11	23.16	26.68	26.78	30.66	30.68	36.32	37.88
Humedad promedio (%)	23.13		26.73		30.67		37.10	
Densidad húmeda (gr/cm ³)	1.358		1.390		1.400		1.297	

Densidad seca máxima = 1.401 gr/cm³ % Humedad Óptima = 28.70



PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATOLICA DEL ECUADOR

ENSAYO DE COMPACTACIÓN

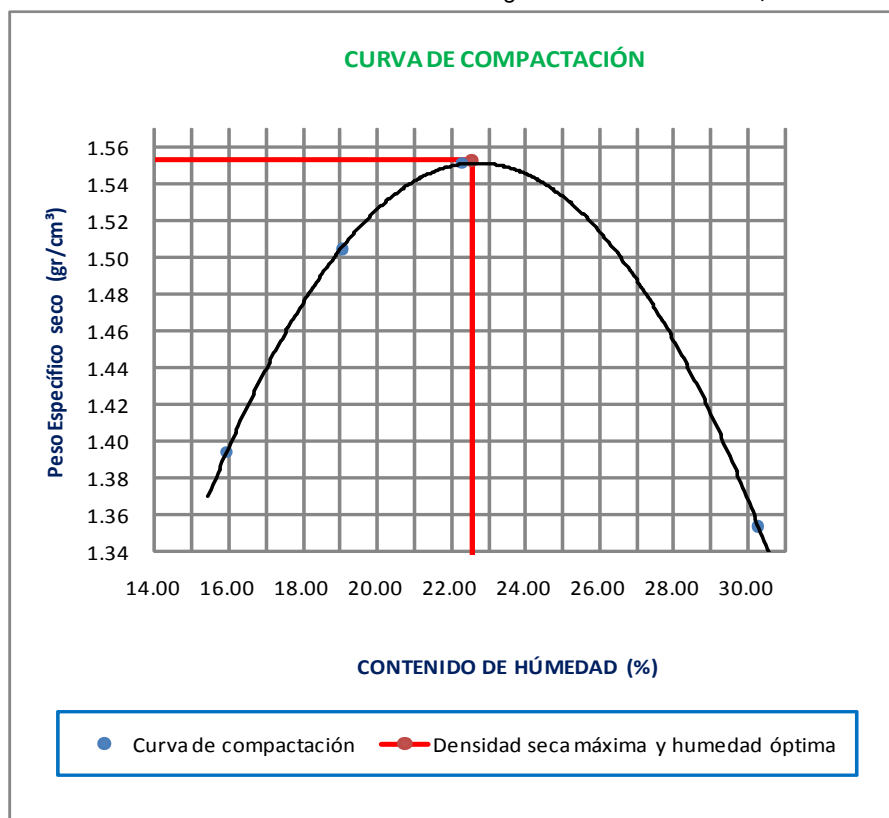
SUELO CL ABS: 3+000
NORMA ASTM D-1557

PROCTOR MODIFICADO (2700 KN · m/m³)

METODO : A
N° DE CAPAS : 5
PESO MARTILLO : 10 lb.
VOL. DE MOLDE : 944 cm³
N° DE GOLPES POR CAPA : 25
ALTURA DE CAIDA DEL MARTILLO : 457.2 mm.
PESO DEL MOLDE : 4247 gr.

N° DE PRUEBA	1		2		3		4	
Peso molde + suelo húmedo (gr.)	5,773		5,938		6,038		5,912	
Peso molde (gr.)	4,247		4,247		4,247		4,247	
Peso suelo húmedo (gr.)	1,526		1,691		1,791		1,665	
Densidad húmeda (gr/cm ³)	1.617		1.791		1.897		1.764	
Peso cap. + suelo húmedo (gr.)	59.41	66.68	44.88	47.58	48.57	55.78	62.04	41.85
Peso cap. + suelo seco (gr.)	53.90	59.89	40.53	42.89	42.78	49.08	52.38	36.46
Peso cápsula (gr.)	18.51	18.23	17.59	18.38	16.85	18.94	20.85	18.44
Contenido de Humedad (%)	15.57	16.30	18.96	19.14	22.33	22.23	30.64	29.91
Humedad promedio (%)	15.93		19.05		22.28		30.27	
Densidad húmeda (gr/cm ³)	1.394		1.505		1.552		1.354	

Densidad seca máxima = 1.553 gr/cm³ % Humedad Óptima = 22.55



PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATOLICA DEL ECUADOR

ENSAYO DE COMPACTACIÓN

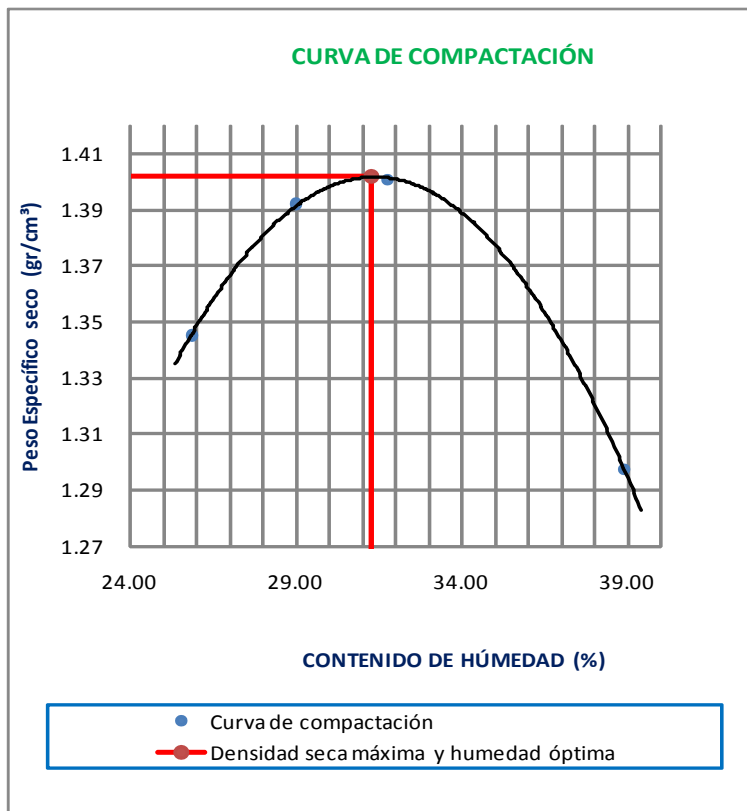
SUELO MH **ABS:** 0+500
NORMA ASTM D-1557

PROCTOR MODIFICADO (2700 KN · m/m³)

METODO : A
N° DE CAPAS : 5 **N° DE GOLPES POR CAPA** : 25
PESO MARTILLO : 10 lb. **ALTURA DE CAIDA DEL MARTILLO** : 457.2 mm.
VOL. DE MOLDE : 944 cm³ **PESO DEL MOLDE** : 4248 gr.

N° DE PRUEBA	1		2		3		4	
Peso molde + suelo húmedo (gr.)	5,846		5,943		5,990		5,949	
Peso molde (gr.)	4,248		4,248		4,248		4,248	
Peso suelo húmedo (gr.)	1,598		1,695		1,742		1,701	
Densidad húmeda (gr/cm ³)	1.693		1.796		1.845		1.802	
Peso cap. + suelo húmedo (gr.)	44.76	45.13	46.48	38.65	42.68	37.97	38.96	39.29
Peso cap. + suelo seco (gr.)	39.34	39.62	40.11	34.05	36.84	33.17	33.02	33.49
Peso cápsula (gr.)	18.23	18.44	18.06	18.23	18.51	17.99	17.89	18.44
Contenido de Humedad (%)	25.68	26.02	28.89	29.08	31.86	31.62	39.26	38.54
Humedad promedio (%)	25.85		28.98		31.74		38.90	
Densidad húmeda (gr/cm ³)	1.345		1.392		1.401		1.297	

Densidad seca máxima = 1.402 gr/cm³ % Humedad Óptima = 31.25



PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATOLICA DEL ECUADOR

ENSAYO DE COMPACTACIÓN

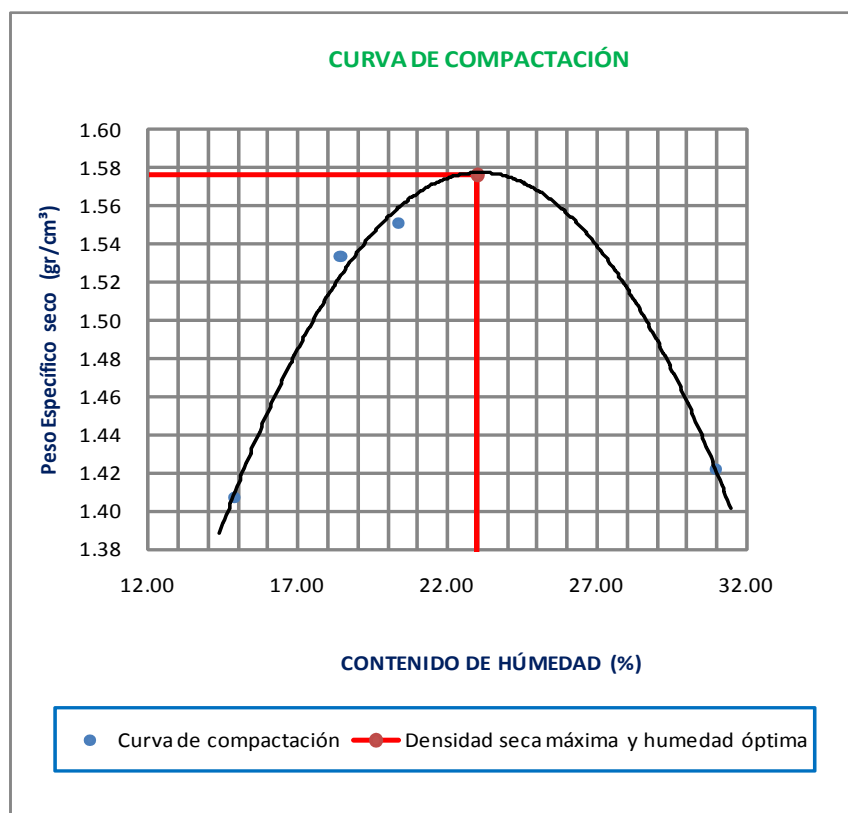
SUELO SC **ABS:** 1+500
NORMA ASTM D-1557

PROCTOR MODIFICADO (2700 KN · m/m³)

METODO : A
N° DE CAPAS : 5 **N° DE GOLPES POR CAPA** : 25
PESO MARTILLO : 10 lb. **ALTURA DE CAIDA DEL MARTILLO** : 457.2 mm.
VOL. DE MOLDE : 944 cm³ **PESO DEL MOLDE** : 4247 gr.

N° DE PRUEBA	1		2		3		4	
Peso molde + suelo húmedo (gr.)	5,773		5,961		6,009		6,005	
Peso molde (gr.)	4,247		4,247		4,247		4,247	
Peso suelo húmedo (gr.)	1,526		1,714		1,762		1,758	
Densidad húmeda (gr/cm ³)	1.617		1.816		1.867		1.862	
Peso cap. + suelo húmedo (gr.)	30.52	38.92	41.38	43.11	34.34	41.32	43.10	37.63
Peso cap. + suelo seco (gr.)	28.95	36.18	37.85	39.28	31.74	37.42	37.17	33.04
Peso cápsula (gr.)	18.29	17.98	18.51	18.67	18.80	18.49	18.14	18.11
Contenido de Humedad (%)	14.73	15.05	18.25	18.58	20.09	20.60	31.16	30.74
Humedad promedio (%)	14.89		18.42		20.35		30.95	
Densidad húmeda (gr/cm ³)	1.407		1.533		1.551		1.422	

Densidad seca máxima = 1.576 gr/cm³ % Humedad Óptima = 23.00



3.5 CBR en Laboratorio

PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATOLICA DEL ECUADOR

ENSAYO DE CBR EN LABORATORIO

SUELO CH ABS: 2+500
NORMA ASTM D - 1883

DATOS DEL ENSAYO DE COMPACTACIÓN

DENSIDAD MÁXIMA :	1.401	gr/cm ³	HUMEDAD ÓPTIMA:	28.70	%
-------------------	-------	--------------------	-----------------	-------	---

DATOS DE MOLDEO

N° DE CAPAS : 5 ALTURA DE CAIDA DEL
PESO MARTILLO : 10 lb. MARTILLO : 457.2 mm.

MOLDES N°	Z7	Z8	Z9
N° DE GOLPES POR CAPA	56	25	11
Peso molde + suelo húmedo (gr.)	10,472	9,967	9,711
Peso molde (gr.)	6,662	6,651	6,650
Peso suelo húmedo (gr.)	3,810	3,316	3,061
Volumen del molde (cm ³)	2,124	2,124	2,124
Densidad húmeda (gr/cm ³)	1,794	1,561	1,441

CONTENIDOS DE HUMEDAD AL MOLDEO

Peso cap. + suelo húmedo (gr.)	56.02	48.82	44.12	44.60	51.21	54.03
Peso cap. + suelo seco (gr.)	47.98	42.16	38.76	39.40	44.16	46.45
Peso cápsula (gr.)	19.04	18.13	18.94	19.94	18.95	18.99
Contenido de Humedad (%)	27.78	27.72	27.04	26.72	27.97	27.60
Humedad promedio (%)	27.75		26.88		27.78	
Densidad húmeda (gr/cm ³)	1,404		1,230		1,128	

CONTENIDOS DE HUMEDAD LUEGO DE LA SATURACIÓN

Peso cap. + suelo húmedo (gr.)	69.06	39.86	56.42	58.52	40.29	33.18
Peso cap. + suelo seco (gr.)	57.37	34.72	48.11	49.32	35.41	29.70
Peso cápsula (gr.)	18.51	16.98	18.77	16.85	18.49	17.69
Contenido de Humedad (%)	30.08	28.97	28.32	28.33	28.84	28.98
Humedad promedio (%)	29.53		28.33		28.91	

PORCENTAJE DE AGUA ABSORBIDA DESPUÉS DE LA SATURACIÓN

Peso molde + suelo húmedo (gr.)	10,621	10,196	9,955
Agua absorbida (gr.)	149	229	244
Agua absorbida (%)	3.91	6.91	7.97

PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATOLICA DEL ECUADOR

ENSAYO DE CBR EN LABORATORIO

SUELO CH **ABS:** 2+500
NORMA ASTM D - 1883

ESPONJAMIENTO

MOLDES N°	Z7		Z8		Z9	
Tiempo (días)	dial	%	dial	%	dial	%
0	0	0.00	0	0.00	0	0.00
1	111	2.37	82	1.75	100	2.14
2	169	3.61	132	2.82	140	2.99
3	210	4.49	153	3.27	163	3.48
4	231	4.94	162	3.46	170	3.63

PENETRACIÓN

Constante anillo = (10,02*Lectura)/3

MOLDES N°	Z7		Z8		Z9	
penetración (pulgadas)	56 Golpes		25 Golpes		11 Golpes	
	dial	presión lb/plg ²	dial	presión lb/plg ²	dial	presión lb/plg ²
0.000	0	0.00	0	0.00	0	0.00
0.025	3	10.02	2	6.68	1	3.34
0.050	5	16.70	2	6.68	1	3.34
0.075	7	23.38	3	10.02	2	6.68
0.100	8	26.72	3	10.02	2	6.68
0.200	15	50.10	5	16.70	4	13.36
0.300	24	80.16	8	26.72	6	20.04
0.400	35	116.90	10	33.40	8	26.72
0.500	45	150.30	12	40.08	11	36.74

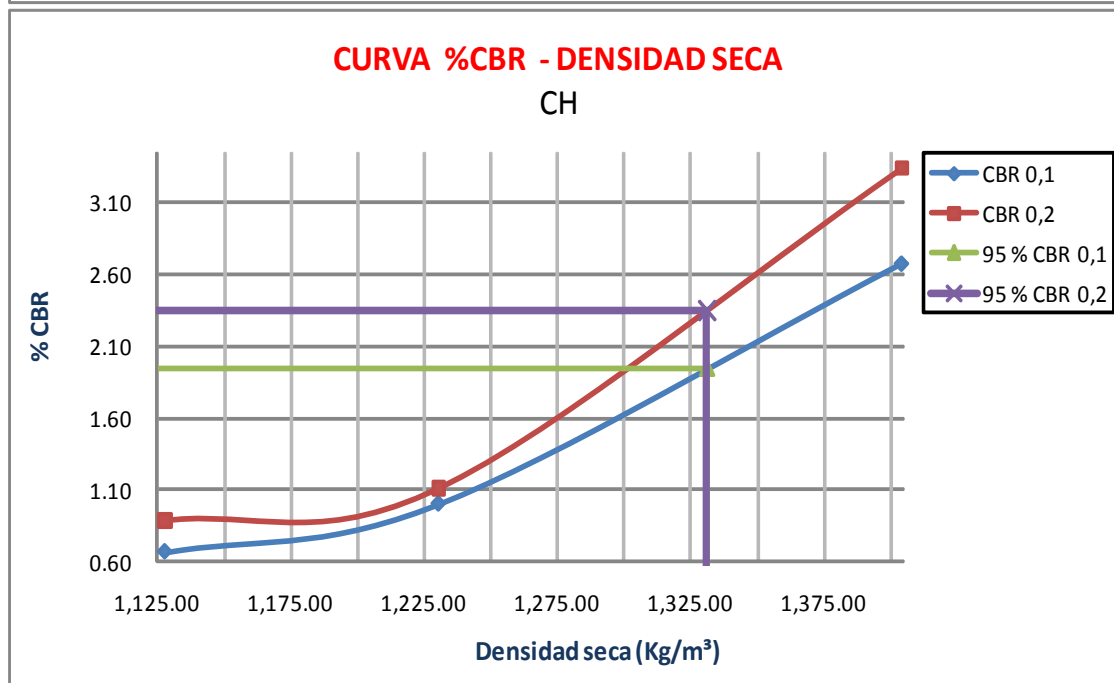
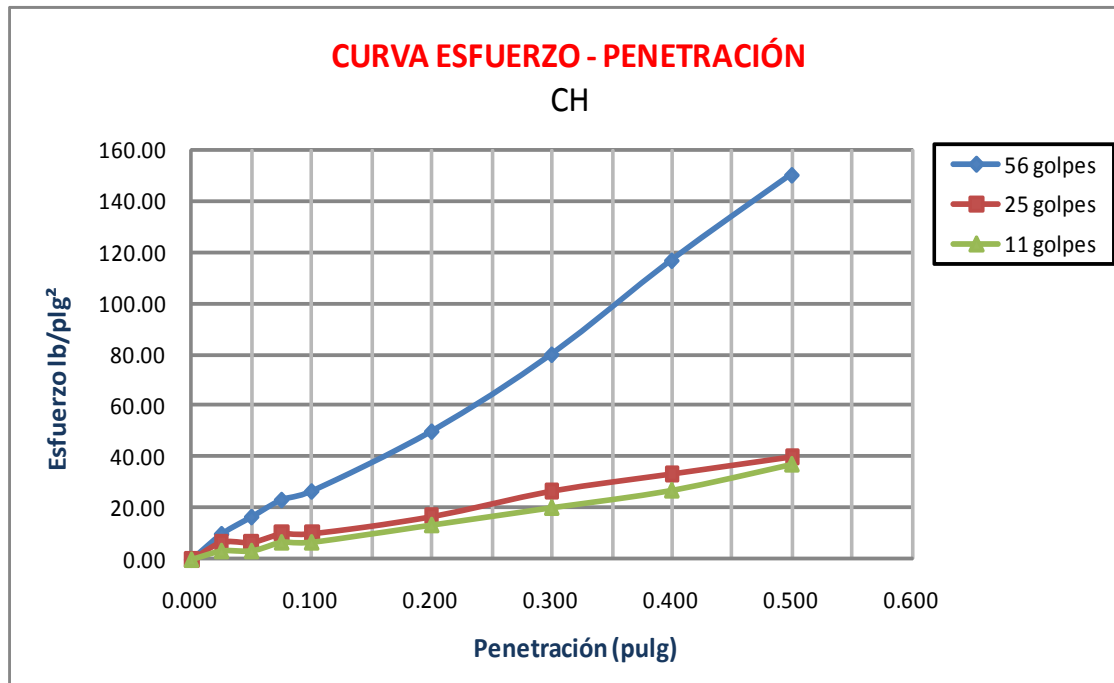
VALORES CBR

presión lb/plg ²	valor CBR 0.1"	presión lb/plg ²	valor CBR 0.2"
26.72	2.67	50.10	3.34
10.02	1.00	16.70	1.11
6.68	0.67	13.36	0.89
CBR (95% gd max.) = 1.95		CBR (95% gd max.) = 2.35	

PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATOLICA DEL ECUADOR

ENSAYO DE CBR EN LABORATORIO

SUELO CH ABS: 2+500
NORMA ASTM D - 1883



PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL ECUADOR

ENSAYO DE CBR EN LABORATORIO

SUELO CH + 0.5% CaCl₂ ABS: 2+500
 NORMA ASTM D - 1883

DATOS DEL ENSAYO DE COMPACTACIÓN

DENSIDAD MÁXIMA :	1.401	gr/cm ³	HUMEDAD ÓPTIMA:	28.70	%
--------------------------	-------	--------------------	------------------------	-------	---

DATOS DE MOLDEO

N° DE CAPAS : 5 ALTURA DE CAIDA DEL
 PESO MARTILLO : 10 lb. MARTILLO : 457.2 mm.

MOLDES N°	C1	D3	D2
N° DE GOLPES POR CAPA	56	25	11
Peso molde + suelo húmedo (gr.)	10,947	10,631	10,182
Peso molde (gr.)	7,178	7,144	7,180
Peso suelo húmedo (gr.)	3,769	3,487	3,002
Volumen del molde (cm ³)	2,124	2,124	2,124
Densidad húmeda (gr/cm ³)	1,774	1,642	1,413

CONTENIDOS DE HUMEDAD AL MOLDEO

Peso cap. + suelo húmedo (gr.)	44.15	47.01	54.17	51.71	58.31	59.96
Peso cap. + suelo seco (gr.)	38.66	40.88	46.40	44.64	49.60	51.02
Peso cápsula (gr.)	18.50	18.41	18.55	18.78	18.24	18.83
Contenido de Humedad (%)	27.23	27.28	27.90	27.34	27.77	27.77
Humedad promedio (%)	27.26		27.62		27.77	
Densidad húmeda (gr/cm ³)	1,394		1,286		1,106	

CONTENIDOS DE HUMEDAD LUEGO DE LA SATURACIÓN

Peso cap. + suelo húmedo (gr.)	49.15	46.98	43.51	51.05	46.12	40.97
Peso cap. + suelo seco (gr.)	41.97	40.33	37.86	43.72	39.80	35.97
Peso cápsula (gr.)	18.31	18.00	18.58	17.97	18.44	19.00
Contenido de Humedad (%)	30.35	29.78	29.30	28.47	29.59	29.46
Humedad promedio (%)	30.06		28.89		29.53	

PORCENTAJE DE AGUA ABSORBIDA DESPUÉS DE LA SATURACIÓN

Peso molde + suelo húmedo (gr.)	11,243	11,067	10,731
Agua absorbida (gr.)	296	436	549
Agua absorbida (%)	7.85	12.50	18.29

PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATOLICA DEL ECUADOR

ENSAYO DE CBR EN LABORATORIO

SUELO CH + 0.5% CaCl₂ **ABS:** 2+500
NORMA ASTM D - 1883

ESPONJAMIENTO

MOLDES N°	C1		D3		D2	
Tiempo (días)	dial	%	dial	%	dial	%
0	0	0.00	0	0.00	0	0.00
1	217	4.64	235	5.02	209	4.47
2	283	6.05	347	7.41	217	4.64
3	322	6.88	368	7.86	219	4.68
4	372	7.95	373	7.97	220	4.70

PENETRACIÓN

Constante anillo = (10,02*Lectura)/3

MOLDES N°	C1		D3		D2	
penetración (pulgadas)	56 Golpes		25 Golpes		11 Golpes	
	dial	presión lb/plg ²	dial	presión lb/plg ²	dial	presión lb/plg ²
0.000	1	0.00	0	0.00	0	0.00
0.025	3	10.02	2	6.68	0	0.00
0.050	4	13.36	3	10.02	1	3.34
0.075	5	16.70	4	13.36	1	3.34
0.100	7	23.38	5	16.70	2	6.68
0.200	11	36.74	9	30.06	2	6.68
0.300	14	46.76	10	33.40	3	10.02
0.400	17	56.78	13	43.42	3	10.02
0.500	21	70.14	15	50.10	3	10.02

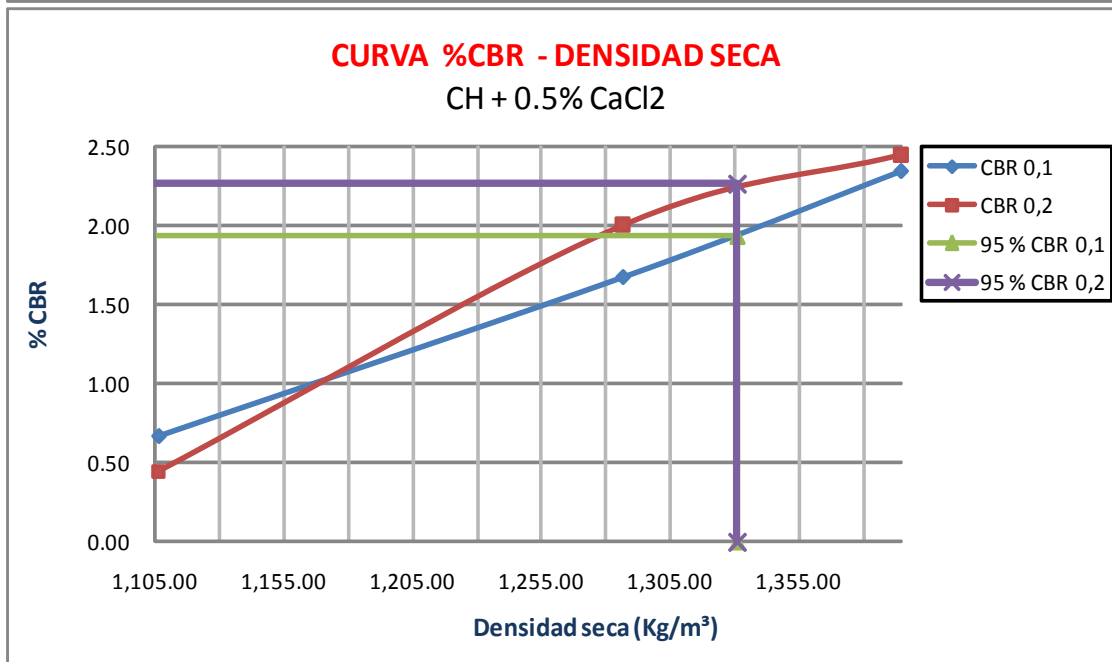
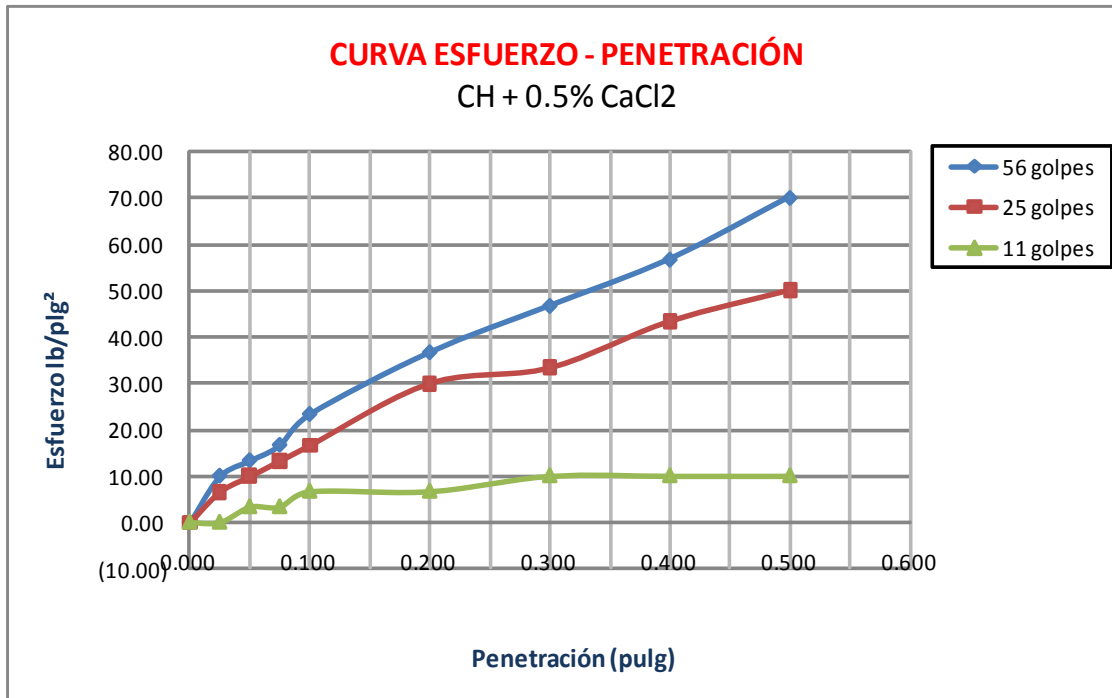
VALORES CBR

presión lb/plg ²	valor CBR 0.1"	presión lb/plg ²	valor CBR 0.2"
23.38	2.34	36.74	2.45
16.70	1.67	30.06	2.00
6.68	0.67	6.68	0.45
CBR (95% gd max.) = 1.93		CBR (95% gd max.) = 2.26	

PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATOLICA DEL ECUADOR

ENSAYO DE CBR EN LABORATORIO

SUELO CH + 0.5% CaCl₂ **ABS:** 2+500
NORMA ASTM D - 1883



PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL ECUADOR

ENSAYO DE CBR EN LABORATORIO

SUELO CH + 1% CaCl₂ **ABS:** 2+500
NORMA ASTM D - 1883

DATOS DEL ENSAYO DE COMPACTACIÓN

DENSIDAD MÁXIMA : 1.401 gr/cm ³	HUMEDAD ÓPTIMA: 28.70 %
---	--------------------------------

DATOS DE MOLDEO

N° DE CAPAS : 5 **ALTURA DE CAIDA DEL**
PESO MARTILLO : 10 lb. **MARTILLO :** 457.2 mm.

MOLDES N°	Z7	Z8	Z9
N° DE GOLPES POR CAPA	56	25	11
Peso molde + suelo húmedo (gr.)	10,525	10,169	9,747
Peso molde (gr.)	6,670	6,656	6,657
Peso suelo húmedo (gr.)	3,855	3,513	3,090
Volumen del molde (cm ³)	2,124	2,124	2,124
Densidad húmeda (gr/cm ³)	1.815	1,654	1,455

CONTENIDOS DE HUMEDAD AL MOLDEO

Peso cap. + suelo húmedo (gr.)	45.74	38.70	49.94	44.20	44.35	55.25
Peso cap. + suelo seco (gr.)	39.80	34.14	42.94	38.46	38.81	47.12
Peso cápsula (gr.)	18.49	17.86	18.24	18.04	18.71	18.01
Contenido de Humedad (%)	27.87	28.01	28.34	28.11	27.56	27.93
Humedad promedio (%)	27.94		28.22		27.75	
Densidad húmeda (gr/cm ³)	1,419		1,290		1,139	

CONTENIDOS DE HUMEDAD LUEGO DE LA SATURACIÓN

Peso cap. + suelo húmedo (gr.)	62.62	59.43	56.42	53.92	49.11	61.37
Peso cap. + suelo seco (gr.)	49.04	46.91	45.53	44.16	39.47	46.87
Peso cápsula (gr.)	18.82	18.21	18.77	18.71	18.73	18.95
Contenido de Humedad (%)	44.94	43.62	40.70	38.35	46.48	51.93
Humedad promedio (%)	44.28		39.52		49.21	

PORCENTAJE DE AGUA ABSORBIDA DESPUÉS DE LA SATURACIÓN

Peso molde + suelo húmedo (gr.)	10,788	10,580	10,267
Agua absorbida (gr.)	263	411	520
Agua absorbida (%)	6.82	11.70	16.83

PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL ECUADOR

ENSAYO DE CBR EN LABORATORIO

SUELO CH + 1% CaCl₂ **ABS:** 2+500
NORMA ASTM D - 1883

ESPONJAMIENTO

MOLDES N°	Z7		Z8		Z9	
Tiempo (días)	dial	%	dial	%	dial	%
0	0	0.00	0	0.00	0	0.00
1	192	4.10	261	5.58	223	4.76
2	244	5.21	340	7.26	227	4.85
3	290	6.20	362	7.74	228	4.87
4	327	6.99	365	7.80	229	4.89

PENETRACIÓN

Constante anillo = (10,02*Lectura)/3

MOLDES N°	Z7		Z8		Z9	
penetración (pulgadas)	56 Golpes		25 Golpes		11 Golpes	
	dial	presión lb/plg ²	dial	presión lb/plg ²	dial	presión lb/plg ²
0.000	0	0.00	0	0.00	0	0.00
0.025	2	6.68	1	3.34	0	0.00
0.050	3	10.02	2	6.68	1	3.34
0.075	4	13.36	3	10.02	1	3.34
0.100	6	20.04	4	13.36	1	3.34
0.200	10	33.40	7	23.38	2	6.68
0.300	13	43.42	9	30.06	3	10.02
0.400	15	50.10	10	33.40	4	13.36
0.500	17	56.78	12	40.08	5	16.70

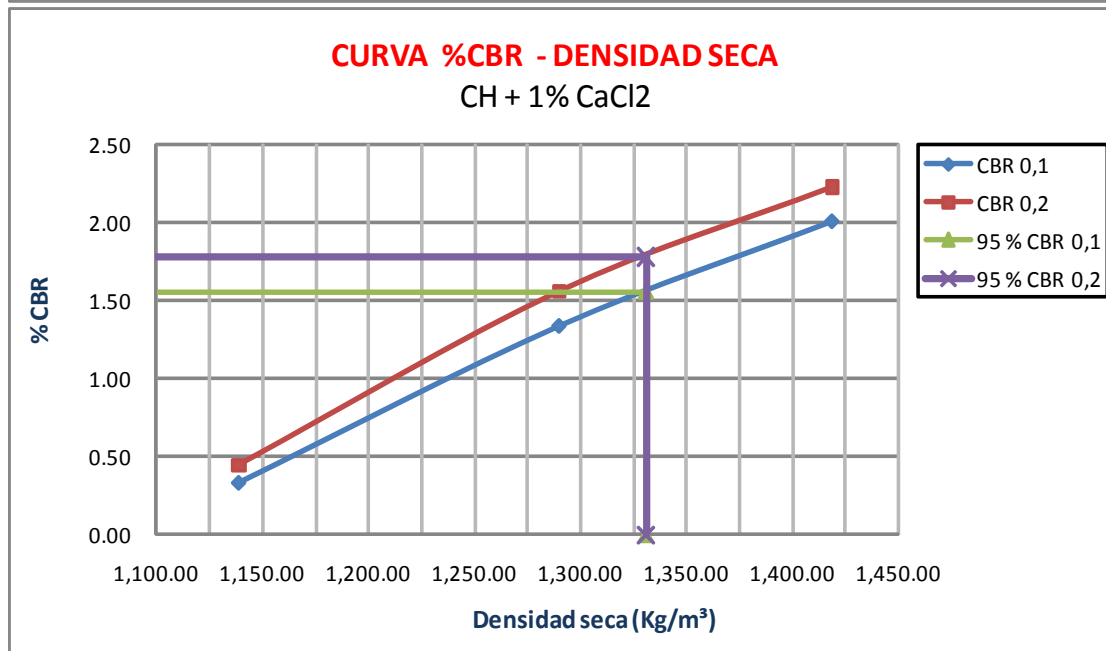
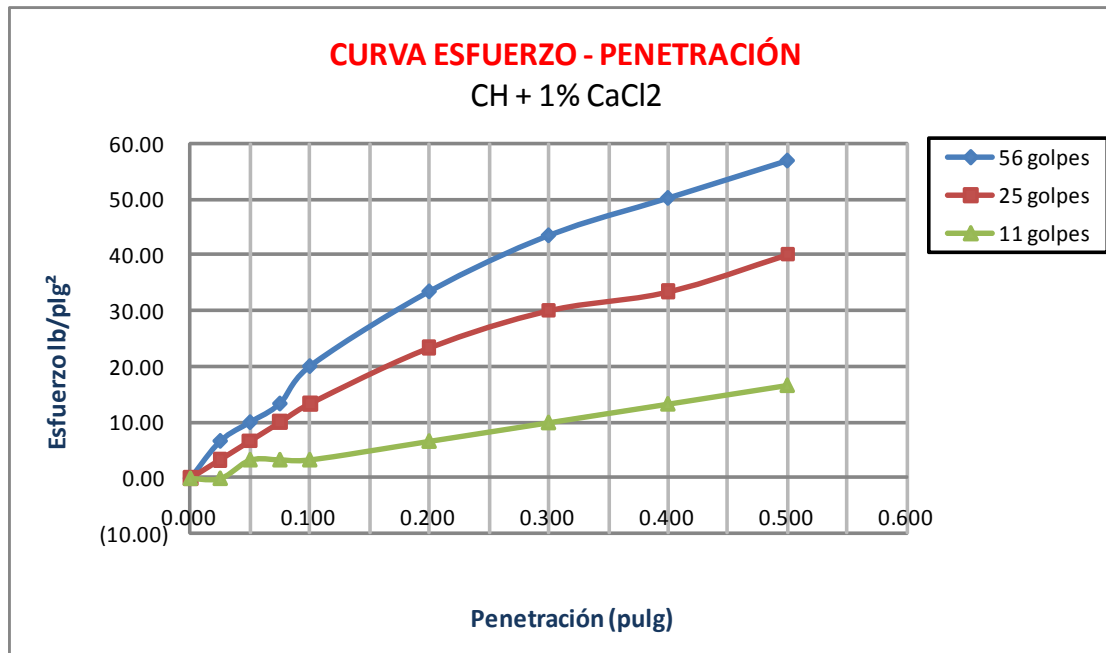
VALORES CBR

presión lb/plg ²	valor CBR 0.1"	presión lb/plg ²	valor CBR 0.2"
20.04	2.00	33.40	2.23
13.36	1.34	23.38	1.56
3.34	0.33	6.68	0.45
CBR (95% gd max.) = 1.55		CBR (95% gd max.) = 1.78	

PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL ECUADOR

ENSAYO DE CBR EN LABORATORIO

SUELO CH + 1% CaCl₂ ABS: 2+500
NORMA ASTM D - 1883



PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATOLICA DEL ECUADOR

ENSAYO DE CBR EN LABORATORIO

SUELO CH+1.5% CaCl₂ ABS: 2+500
 NORMA ASTM D - 1883

DATOS DEL ENSAYO DE COMPACTACIÓN

DENSIDAD MÁXIMA :	1.401 gr/cm ³	HUMEDAD ÓPTIMA:	28.70 %
--------------------------	--------------------------	------------------------	---------

DATOS DE MOLDEO

N° DE CAPAS : 5 ALTURA DE CAIDA DEL
 PESO MARTILLO : 10 lb. MARTILLO : 457.2 mm.

MOLDES N°	C1	D3	D2
N° DE GOLPES POR CAPA	56	25	11
Peso molde + suelo húmedo (gr.)	11,072	10,647	10,296
Peso molde (gr.)	7,186	7,151	7,187
Peso suelo húmedo (gr.)	3,886	3,496	3,109
Volumen del molde (cm ³)	2,124	2,124	2,124
Densidad húmeda (gr/cm ³)	1,830	1,646	1,464

CONTENIDOS DE HUMEDAD AL MOLDEO

Peso cap. + suelo húmedo (gr.)	43.75	50.64	47.60	47.53	52.17	45.74
Peso cap. + suelo seco (gr.)	38.10	43.68	41.27	41.25	44.76	39.80
Peso cápsula (gr.)	17.59	18.43	18.29	18.49	18.04	18.05
Contenido de Humedad (%)	27.55	27.56	27.55	27.59	27.73	27.31
Humedad promedio (%)	27.56		27.57		27.52	
Densidad húmeda (gr/cm ³)	1,434		1,290		1,148	

CONTENIDOS DE HUMEDAD LUEGO DE LA SATURACIÓN

Peso cap. + suelo húmedo (gr.)	51.85	52.75	58.51	47.24	48.77	54.09
Peso cap. + suelo seco (gr.)	44.17	44.45	46.96	38.98	39.42	43.23
Peso cápsula (gr.)	18.58	18.49	18.31	16.98	17.99	18.15
Contenido de Humedad (%)	30.01	31.97	40.31	37.55	43.63	43.30
Humedad promedio (%)	30.99		38.93		43.47	

PORCENTAJE DE AGUA ABSORBIDA DESPUÉS DE LA SATURACIÓN

Peso molde + suelo húmedo (gr.)	11,319	11,054	10,791
Agua absorbida (gr.)	247	407	495
Agua absorbida (%)	6.36	11.64	15.92

PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATOLICA DEL ECUADOR

ENSAYO DE CBR EN LABORATORIO

SUELO CH+1.5% CaCl₂ **ABS:** 2+500
NORMA ASTM D - 1883

ESPONJAMIENTO

MOLDES N°	C1		D3		D2	
Tiempo (días)	dial	%	dial	%	dial	%
0	0	0.00	0	0.00	0	0.00
1	230	4.91	239	5.11	238	5.09
2	283	6.05	317	6.77	241	5.15
3	318	6.79	332	7.09	242	5.17
4	346	7.39	337	7.20	244	5.21

PENETRACIÓN

Constante anillo = (10,02*Lectura)/3

MOLDES N°	C1		D3		D2	
penetración (pulgadas)	56 Golpes		25 Golpes		11 Golpes	
	dial	presión lb/plg ²	dial	presión lb/plg ²	dial	presión lb/plg ²
0.000	0	0.00	0	0.00	0	0.00
0.025	2	6.68	1	3.34	1	3.34
0.050	4	13.36	2	6.68	1	3.34
0.075	4	13.36	3	10.02	2	6.68
0.100	5	16.70	4	13.36	2	6.68
0.200	8	26.72	6	20.04	2	6.68
0.300	10	33.40	8	26.72	3	10.02
0.400	12	40.08	10	33.40	4	13.36
0.500	14	46.76	11	36.74	5	16.70

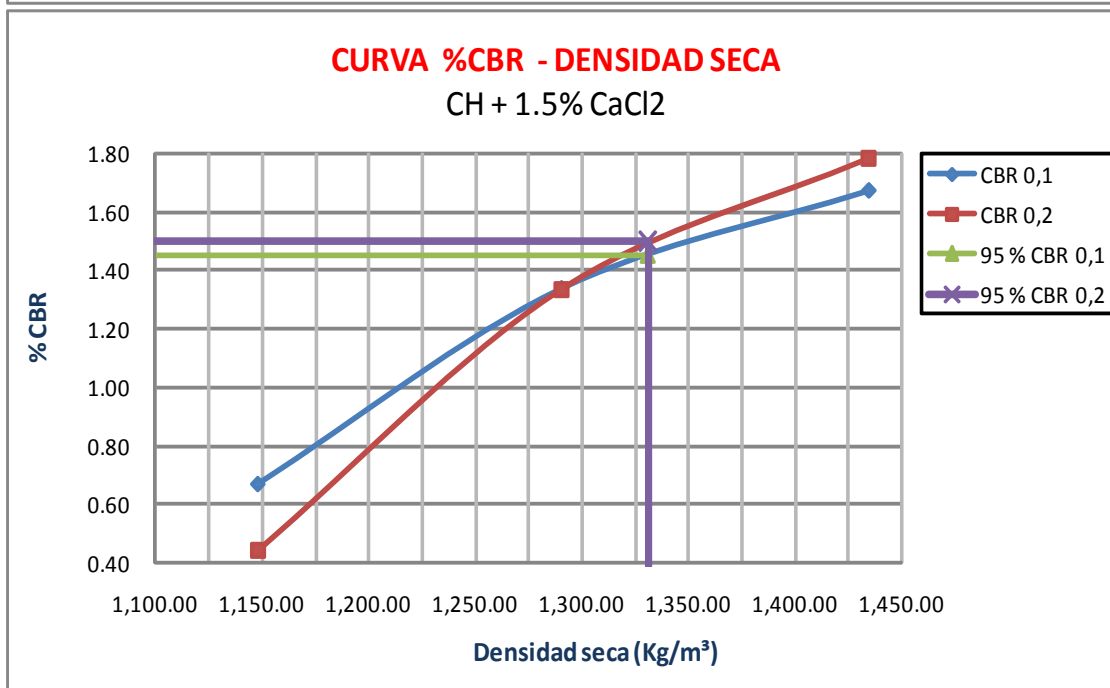
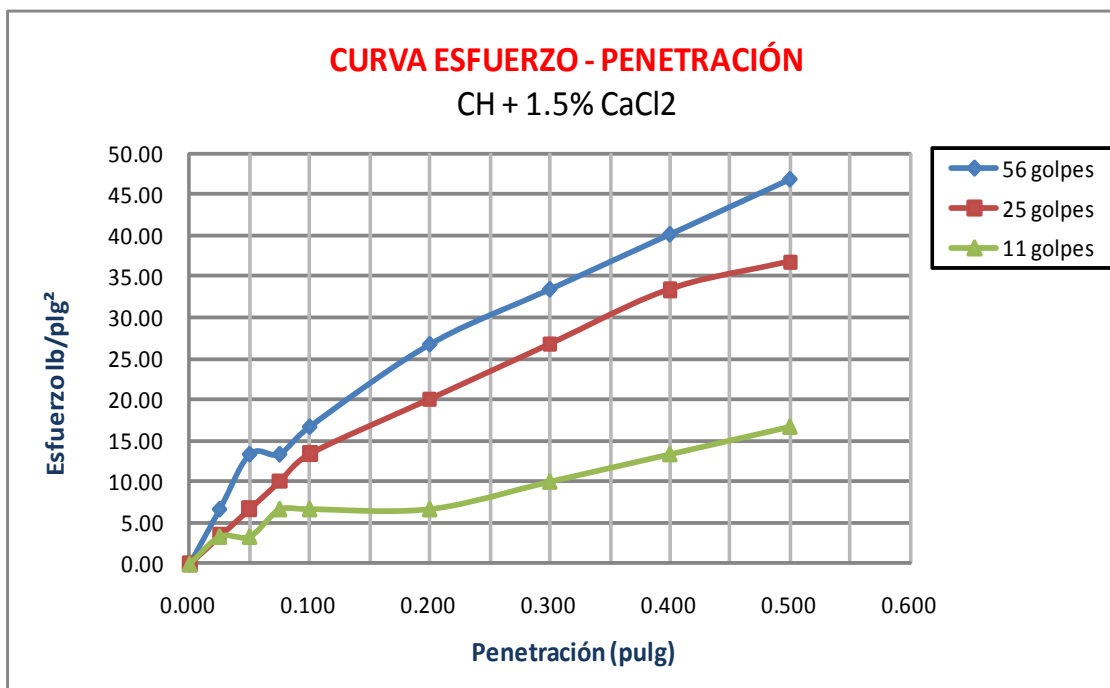
VALORES CBR

presión lb/plg ²	valor CBR 0.1"	presión lb/plg ²	valor CBR 0.2"
16.70	1.67	26.72	1.78
13.36	1.34	20.04	1.34
6.68	0.67	6.68	0.45
CBR (95% gd max.) = 1.45		CBR (95% gd max.) = 1.50	

PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATOLICA DEL ECUADOR

ENSAYO DE CBR EN LABORATORIO

SUELO CH+1.5% CaCl₂ ABS: 2+500
NORMA ASTM D - 1883



PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATOLICA DEL ECUADOR

ENSAYO DE CBR EN LABORATORIO

SUELO CH+2% CaCl₂ **ABS:** 2+500
NORMA ASTM D - 1883

DATOS DEL ENSAYO DE COMPACTACIÓN

DENSIDAD MÁXIMA : 1.401 gr/cm ³	HUMEDAD ÓPTIMA: 28.70 %
---	--------------------------------

DATOS DE MOLDEO

N° DE CAPAS : 5 **ALTURA DE CAIDA DEL**
PESO MARTILLO : 10 lb. **MARTILLO :** 457.2 mm.

MOLDES N°	E1	C2	C3
N° DE GOLPES POR CAPA	56	25	11
Peso molde + suelo húmedo (gr.)	10,753	10,121	10,006
Peso molde (gr.)	6,880	6,572	6,913
Peso suelo húmedo (gr.)	3,873	3,549	3,093
Volumen del molde (cm³)	2,124	2,124	2,124
Densidad húmeda (gr/cm³)	1,823	1,671	1,456

CONTENIDOS DE HUMEDAD AL MOLDEO

Peso cap. + suelo húmedo (gr.)	43.76	44.85	60.37	56.04	54.65	53.83
Peso cap. + suelo seco (gr.)	38.36	39.28	51.27	47.97	46.84	46.14
Peso cápsula (gr.)	18.50	18.66	18.14	17.99	18.72	18.50
Contenido de Humedad (%)	27.19	27.01	27.47	26.92	27.77	27.82
Humedad promedio (%)	27.10		27.19		27.80	
Densidad húmeda (gr/cm³)	1,435		1,314		1,139	

CONTENIDOS DE HUMEDAD LUEGO DE LA SATURACIÓN

Peso cap. + suelo húmedo (gr.)	35.94	39.12	38.04	46.06	49.67	39.48
Peso cap. + suelo seco (gr.)	31.72	33.03	32.82	38.54	40.49	33.15
Peso cápsula (gr.)	18.50	17.57	18.95	18.96	18.14	18.16
Contenido de Humedad (%)	31.92	39.39	37.64	38.41	41.07	42.23
Humedad promedio (%)	35.66		38.02		41.65	

PORCENTAJE DE AGUA ABSORBIDA DESPUÉS DE LA SATURACIÓN

Peso molde + suelo húmedo (gr.)	10,934	10,529	10,499
Agua absorbida (gr.)	181	408	493
Agua absorbida (%)	4.67	11.50	15.94

PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATOLICA DEL ECUADOR

ENSAYO DE CBR EN LABORATORIO

SUELO CH+2% CaCl₂ **ABS:** 2+500
NORMA ASTM D - 1883

ESPONJAMIENTO

MOLDES N°	E1		C2		C3	
Tiempo (días)	dial	%	dial	%	dial	%
0	0	0.00	0	0.00	0	0.00
1	180	3.85	293	6.26	235	5.02
2	233	4.98	355	7.59	238	5.09
3	261	5.58	355	7.59	239	5.11
4	285	6.09	356	7.61	239	5.11

PENETRACIÓN

Constante anillo = (10,02*Lectura)/3

MOLDES N°	E1		C2		C3	
penetración (pulgadas)	56 Golpes		25 Golpes		11 Golpes	
	dial	presión lb/plg ²	dial	presión lb/plg ²	dial	presión lb/plg ²
0.000	0	0.00	0	0.00	0	0.00
0.025	2	6.68	1	3.34	0	0.00
0.050	3	10.02	2	6.68	1	3.34
0.075	4	13.36	2	6.68	1	3.34
0.100	4	13.36	3	10.02	2	6.68
0.200	6	20.04	4	13.36	2	6.68
0.300	8	26.72	6	20.04	3	10.02
0.400	11	36.74	7	23.38	4	13.36
0.500	13	43.42	9	30.06	5	16.70

VALORES CBR

presión lb/plg ²	valor CBR 0.1"	presión lb/plg ²	valor CBR 0.2"
13.36	1.34	20.04	1.34
10.02	1.00	13.36	0.89
6.68	0.67	6.68	0.45
CBR (95% gd max.) = 1.05		CBR (95% gd max.) = 0.94	

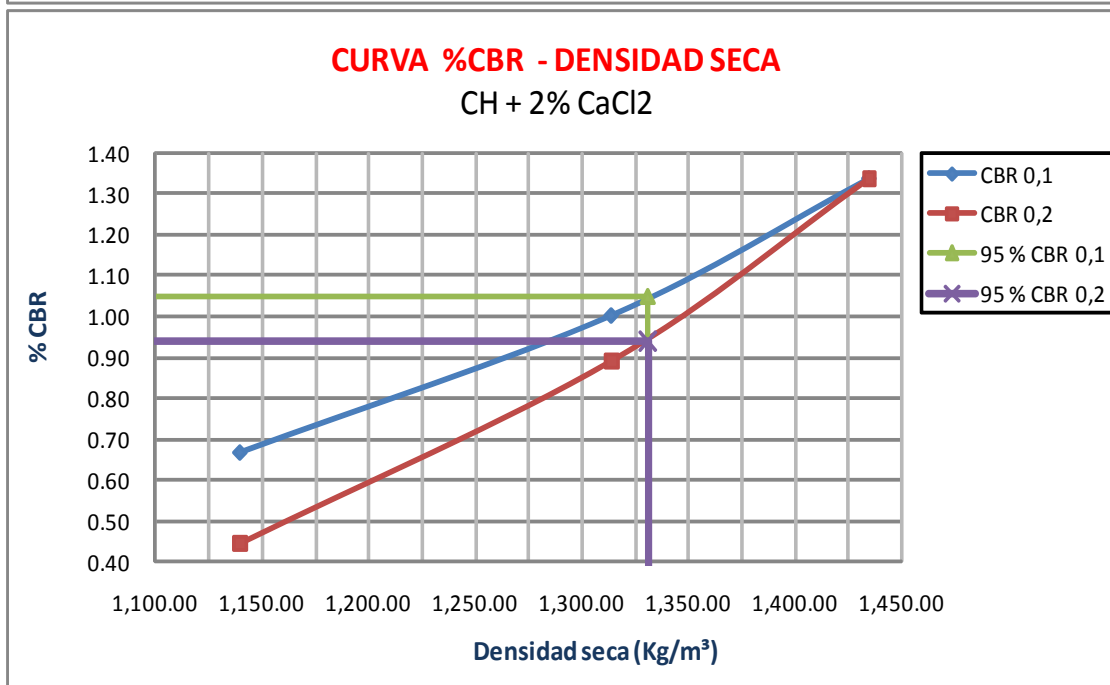
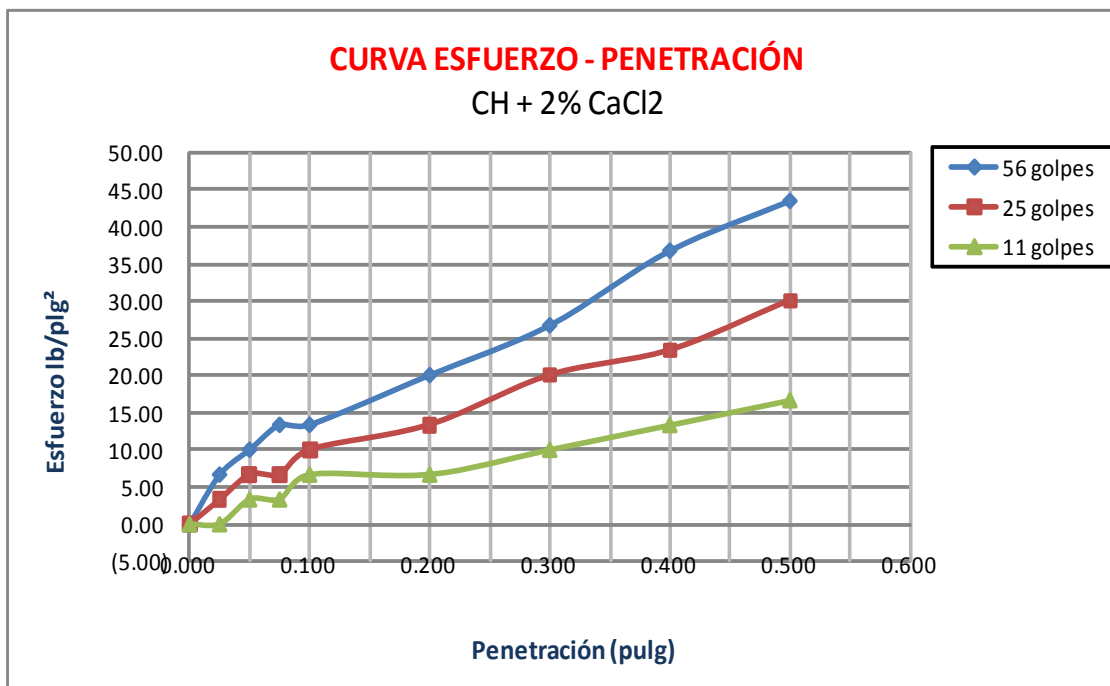
PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATOLICA DEL ECUADOR

ENSAYO DE CBR EN LABORATORIO

SUELO
NORMA

CH+2% CaCl₂
ASTM D - 1883

ABS: 2+500



PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATOLICA DEL ECUADOR

ENSAYO DE CBR EN LABORATORIO

SUELO CL ABS: 3+000
 NORMA ASTM D - 1883

DATOS DEL ENSAYO DE COMPACTACIÓN

DENSIDAD MÁXIMA :	1.553	gr/cm ³	HUMEDAD ÓPTIMA:	22.55	%
--------------------------	-------	--------------------	------------------------	-------	---

DATOS DE MOLDEO

N° DE CAPAS : 5 ALTURA DE CAIDA DEL
 PESO MARTILLO : 10 lb. MARTILLO : 457.2 mm.

MOLDES N°	Z4	Z5	Z6
N° DE GOLPES POR CAPA	56	25	11
Peso molde + suelo húmedo (gr.)	10,691	10,597	10,359
Peso molde (gr.)	6,707	6,680	6,656
Peso suelo húmedo (gr.)	3,984	3,917	3,703
Volumen del molde (cm ³)	2,124	2,124	2,124
Densidad húmeda (gr/cm ³)	1,876	1,844	1,743

CONTENIDOS DE HUMEDAD AL MOLDEO

Peso cap. + suelo húmedo (gr.)	53.47	51.97	48.05	46.23	54.90	53.48
Peso cap. + suelo seco (gr.)	46.67	45.62	42.92	41.45	48.43	47.10
Peso cápsula (gr.)	18.11	17.59	18.22	19.03	18.80	18.43
Contenido de Humedad (%)	23.81	22.65	20.77	21.32	21.84	22.25
Humedad promedio (%)	23.23		21.04		22.04	
Densidad húmeda (gr/cm ³)	1,522		1,524		1,429	

CONTENIDOS DE HUMEDAD LUEGO DE LA SATURACIÓN

Peso cap. + suelo húmedo (gr.)	55.89	48.05	52.28	51.73	57.80	50.23
Peso cap. + suelo seco (gr.)	47.97	41.29	45.63	45.14	49.84	43.60
Peso cápsula (gr.)	18.66	16.85	19.04	18.71	18.67	18.32
Contenido de Humedad (%)	27.02	27.66	25.01	24.93	25.54	26.23
Humedad promedio (%)	27.34		24.97		25.88	

PORCENTAJE DE AGUA ABSORBIDA DESPUÉS DE LA SATURACIÓN

Peso molde + suelo húmedo (gr.)	10,734	10,676	10,490
Agua absorbida (gr.)	43	79	131
Agua absorbida (%)	1.08	2.02	3.54

PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATOLICA DEL ECUADOR

ENSAYO DE CBR EN LABORATORIO

SUELO CL **ABS:** 3+000
NORMA ASTM D - 1883

ESPONJAMIENTO

MOLDES N°	Z4		Z5		Z6	
Tiempo (días)	dial	%	dial	%	dial	%
0	0	0.00	0	0.00	0	0.00
1	35	0.75	30	0.64	42	0.90
2	38	0.81	30	0.64	44	0.94
3	45	0.96	46	0.98	63	1.35
4	48	1.03	47	1.00	66	1.41

PENETRACIÓN

Constante anillo = (10,02*Lectura)/3

MOLDES N°	Z4		Z5		Z6	
penetración (pulgadas)	56 Golpes		25 Golpes		11 Golpes	
	dial	presión lb/plg ²	dial	presión lb/plg ²	dial	presión lb/plg ²
0.000	0	0.00	0	0.00	0	0.00
0.025	5	16.70	4	13.36	2	6.68
0.050	10	33.40	9	30.06	4	13.36
0.075	14	46.76	13	43.42	6	20.04
0.100	19	63.46	18	60.12	7	23.38
0.200	33	110.22	33	110.22	12	40.08
0.300	45	150.30	49	163.66	16	53.44
0.400	56	187.04	62	207.08	19	63.46
0.500	67	223.78	73	243.82	23	76.82

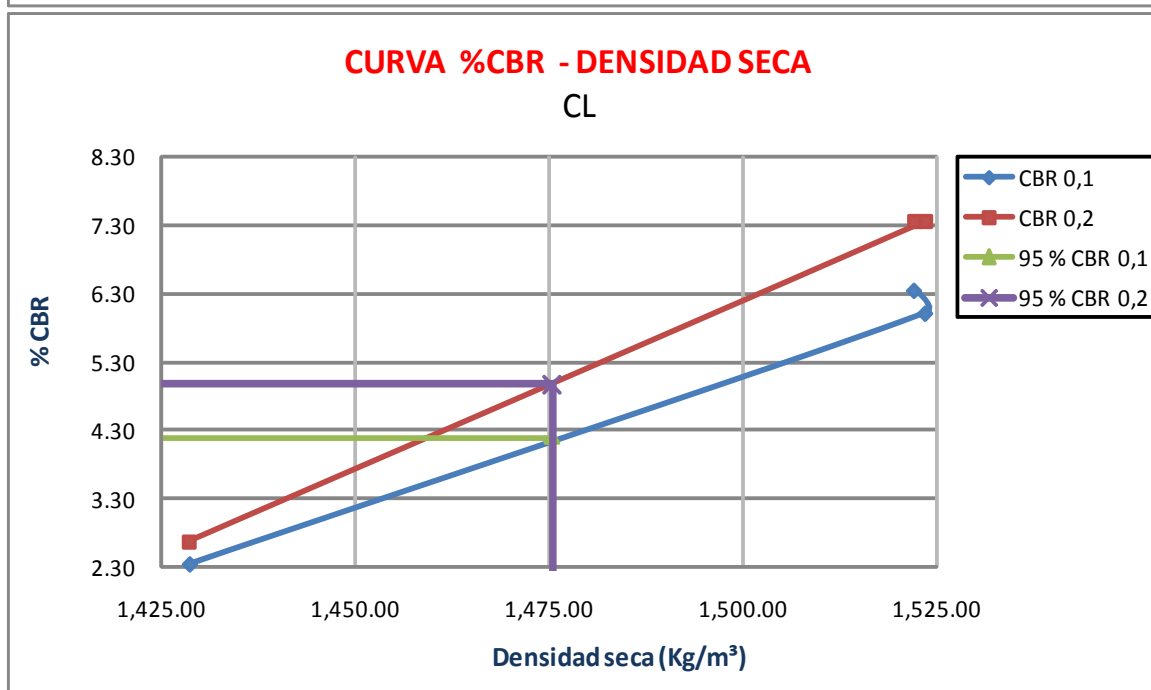
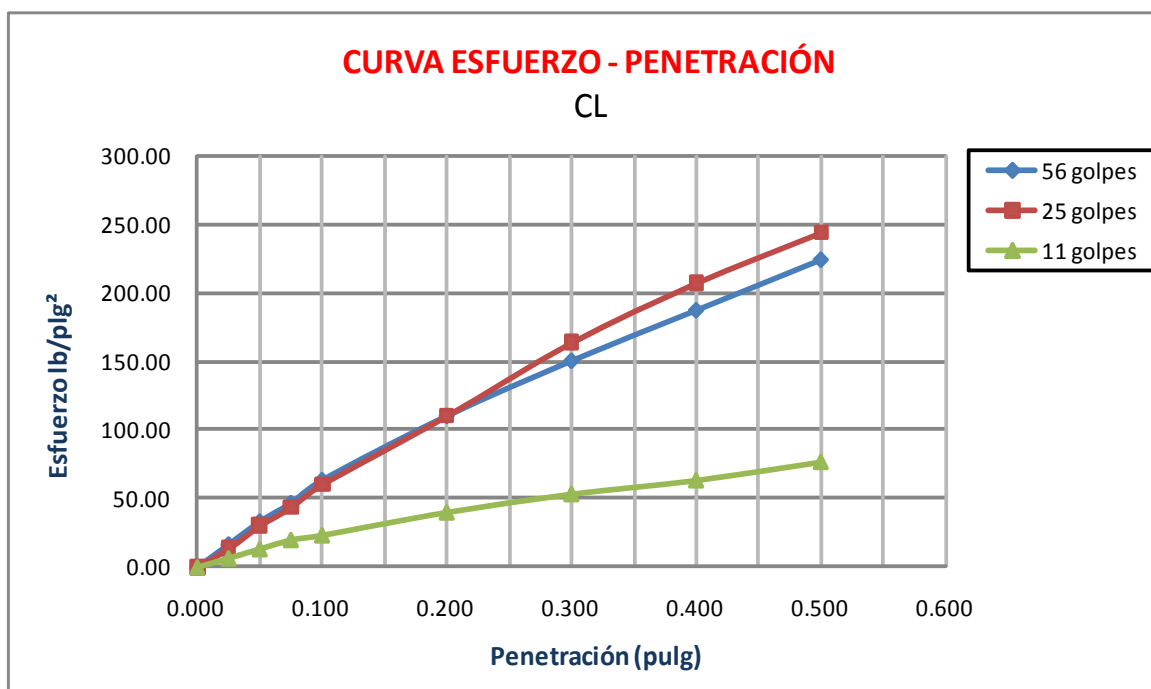
VALORES CBR

presión lb/plg ²	valor CBR 0.1"	presión lb/plg ²	valor CBR 0.2"
63.46	6.35	110.22	7.35
60.12	6.01	110.22	7.35
23.38	2.34	40.08	2.67
CBR (95% gd max.) = 4.20		CBR (95% gd max.) = 4.97	

PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATOLICA DEL ECUADOR

ENSAYO DE CBR EN LABORATORIO

SUELO CL ABS: 3+000
NORMA ASTM D - 1883



PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL ECUADOR

ENSAYO DE CBR EN LABORATORIO

SUELO CL + 0.5% CaCl₂ **ABS:** 3+000
NORMA ASTM D - 1883

DATOS DEL ENSAYO DE COMPACTACIÓN

DENSIDAD MÁXIMA :	1.553	gr/cm ³	HUMEDAD ÓPTIMA:	22.55	%
--------------------------	-------	--------------------	------------------------	-------	---

DATOS DE MOLDEO

N° DE CAPAS : 5 **ALTURA DE CAIDA DEL**
PESO MARTILLO : 10 lb. **MARTILLO :** 457.2 mm.

MOLDES N°	Z7	Z8	Z9
N° DE GOLPES POR CAPA	56	25	11
Peso molde + suelo húmedo (gr.)	10,668	10,600	10,370
Peso molde (gr.)	6,663	6,651	6,651
Peso suelo húmedo (gr.)	4,005	3,949	3,719
Volumen del molde (cm³)	2,124	2,124	2,124
Densidad húmeda (gr/cm³)	1,886	1,859	1,751

CONTENIDOS DE HUMEDAD AL MOLDEO

Peso cap. + suelo húmedo (gr.)	45.94	48.31	54.92	48.55	48.78	52.02
Peso cap. + suelo seco (gr.)	41.19	43.07	48.35	43.19	43.44	46.30
Peso cápsula (gr.)	18.66	18.29	18.40	18.66	17.65	18.74
Contenido de Humedad (%)	21.08	21.15	21.94	21.85	20.71	20.75
Humedad promedio (%)	21.11		21.89		20.73	
Densidad húmeda (gr/cm³)	1,557		1,525		1,450	

CONTENIDOS DE HUMEDAD LUEGO DE LA SATURACIÓN

Peso cap. + suelo húmedo (gr.)	51.50	58.35	54.98	57.60	52.97	63.51
Peso cap. + suelo seco (gr.)	45.39	50.74	47.69	49.89	46.53	54.66
Peso cápsula (gr.)	18.90	18.71	18.11	17.59	20.86	19.94
Contenido de Humedad (%)	23.07	23.76	24.65	23.87	25.09	25.49
Humedad promedio (%)	23.41		24.26		25.29	

PORCENTAJE DE AGUA ABSORBIDA DESPUÉS DE LA SATURACIÓN

Peso molde + suelo húmedo (gr.)	10,706	10,656	10,524
Agua absorbida (gr.)	38	56	154
Agua absorbida (%)	0.95	1.42	4.14

PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL ECUADOR

ENSAYO DE CBR EN LABORATORIO

SUELO CL + 0.5% CaCl₂ **ABS:** 3+000
NORMA ASTM D - 1883

ESPONJAMIENTO

MOLDES N°	Z7		Z8		Z9	
Tiempo (días)	dial	%	dial	%	dial	%
0	0	0.00	0	0.00	0	0.00
1	6	0.13	17	0.36	49	1.05
2	8	0.17	22	0.47	55	1.18
3	11	0.24	25	0.53	56	1.20
4	14	0.30	27	0.58	56	1.20

PENETRACIÓN

Constante anillo = (10,02*Lectura)/3

MOLDES N°	Z7		Z8		Z9	
penetración (pulgadas)	56 Golpes		25 Golpes		11 Golpes	
	dial	presión lb/plg ²	dial	presión lb/plg ²	dial	presión lb/plg ²
0.000	0	0.00	0	0.00	0	0.00
0.025	4	13.36	5	16.70	4	13.36
0.050	8	26.72	8	26.72	7	23.38
0.075	12	40.08	12	40.08	10	33.40
0.100	16	53.44	15	50.10	12	40.08
0.200	30	100.20	30	100.20	19	63.46
0.300	42	140.28	38	126.92	24	80.16
0.400	50	167.00	46	153.64	28	93.52
0.500	61	203.74	54	180.36	32	106.88

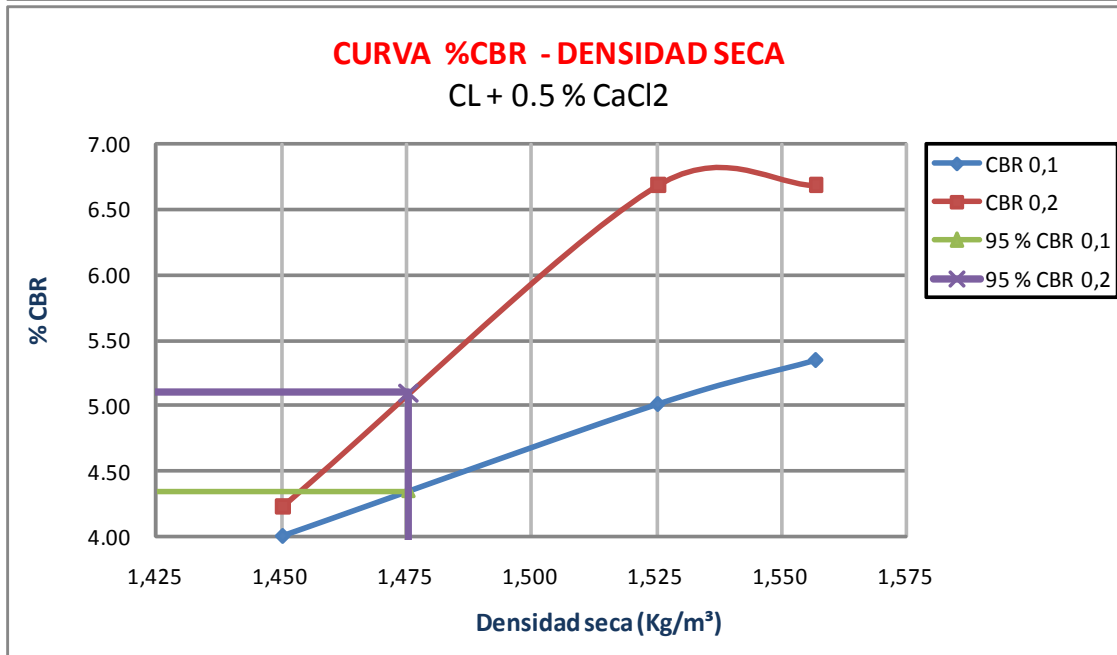
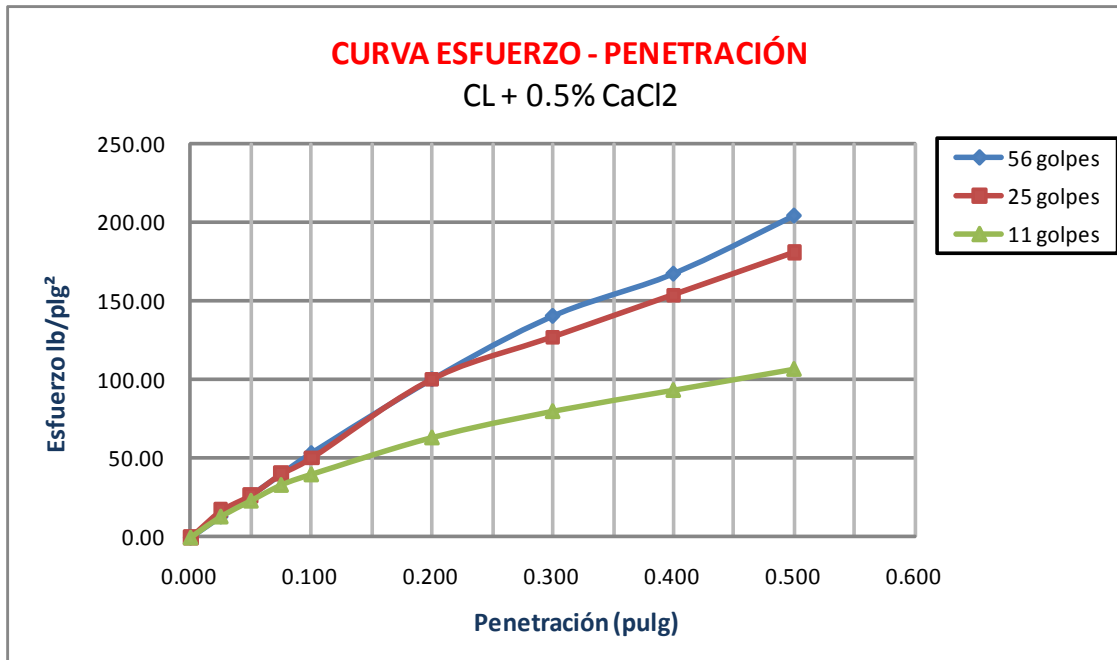
VALORES CBR

presión lb/plg ²	valor CBR 0.1"	presión lb/plg ²	valor CBR 0.2"
53.44	5.34	100.20	6.68
50.10	5.01	100.20	6.68
40.08	4.01	63.46	4.23
CBR (95% gd max.) = 4.35		CBR (95% gd max.) = 5.10	

PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL ECUADOR

ENSAYO DE CBR EN LABORATORIO

SUELO CL + 0.5% CaCl₂ ABS: 3+000
 NORMA ASTM D - 1883



PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATOLICA DEL ECUADOR

ENSAYO DE CBR EN LABORATORIO

SUELO CL+1% CaCl₂ **ABS:** 3+000
NORMA ASTM D - 1883

DATOS DEL ENSAYO DE COMPACTACIÓN

DENSIDAD MÁXIMA : 1.553 gr/cm ³	HUMEDAD ÓPTIMA: 22.55 %
---	--------------------------------

DATOS DE MOLDEO

N° DE CAPAS : 5 **ALTURA DE CAIDA DEL**
PESO MARTILLO : 10 lb. **MARTILLO :** 457.2 mm.

MOLDES N°	E1	D2	D3
N° DE GOLPES POR CAPA	56	25	11
Peso molde + suelo húmedo (gr.)	10,848	11,076	10,804
Peso molde (gr.)	6,874	7,180	7,144
Peso suelo húmedo (gr.)	3,974	3,896	3,660
Volumen del molde (cm³)	2,124	2,124	2,124
Densidad húmeda (gr/cm³)	1,871	1,834	1,723

CONTENIDOS DE HUMEDAD AL MOLDEO

Peso cap. + suelo húmedo (gr.)	45.55	51.67	54.51	52.74	52.04	43.10
Peso cap. + suelo seco (gr.)	41.43	46.08	48.28	46.66	46.47	39.00
Peso cápsula (gr.)	20.85	18.94	18.73	18.13	19.94	18.90
Contenido de Humedad (%)	20.02	20.60	21.08	21.31	21.00	20.40
Humedad promedio (%)	20.31		21.20		20.70	
Densidad húmeda (gr/cm³)	1,555		1,513		1,428	

CONTENIDOS DE HUMEDAD LUEGO DE LA SATURACIÓN

Peso cap. + suelo húmedo (gr.)	48.03	54.33	51.00	47.57	54.14	47.59
Peso cap. + suelo seco (gr.)	42.61	47.69	44.88	42.27	46.81	41.71
Peso cápsula (gr.)	18.28	18.23	18.77	18.82	18.21	18.73
Contenido de Humedad (%)	22.28	22.54	23.44	22.60	25.63	25.59
Humedad promedio (%)	22.41		23.02		25.61	

PORCENTAJE DE AGUA ABSORBIDA DESPUÉS DE LA SATURACIÓN

Peso molde + suelo húmedo (gr.)	10,904	11,163	10,988
Agua absorbida (gr.)	56	87	184
Agua absorbida (%)	1.41	2.23	5.03

PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATOLICA DEL ECUADOR

ENSAYO DE CBR EN LABORATORIO

SUELO CL+1% CaCl₂ **ABS:** 3+000
NORMA ASTM D - 1883

ESPONJAMIENTO

MOLDES N°	E1		D2		D3	
Tiempo (días)	dial	%	dial	%	dial	%
0	0	0.00	0	0.00	0	0.00
1	4	0.09	30	0.64	57	1.22
2	7	0.15	30	0.64	60	1.28
3	9	0.19	35	0.75	60	1.28
4	10	0.21	37	0.79	60	1.28

PENETRACIÓN

Constante anillo = (10,02*Lectura)/3

MOLDES N°	E1		D2		D3	
penetración (pulgadas)	56 Golpes		25 Golpes		11 Golpes	
	dial	presión lb/plg ²	dial	presión lb/plg ²	dial	presión lb/plg ²
0.000	0	0.00	0	0.00	0	0.00
0.025	5	16.70	5	16.70	3	10.02
0.050	10	33.40	11	36.74	5	16.70
0.075	15	50.10	16	53.44	7	23.38
0.100	18	60.12	20	66.80	9	30.06
0.200	32	106.88	33	110.22	14	46.76
0.300	45	150.30	44	146.96	18	60.12
0.400	56	187.04	54	180.36	21	70.14
0.500	66	220.44	65	217.10	23	76.82

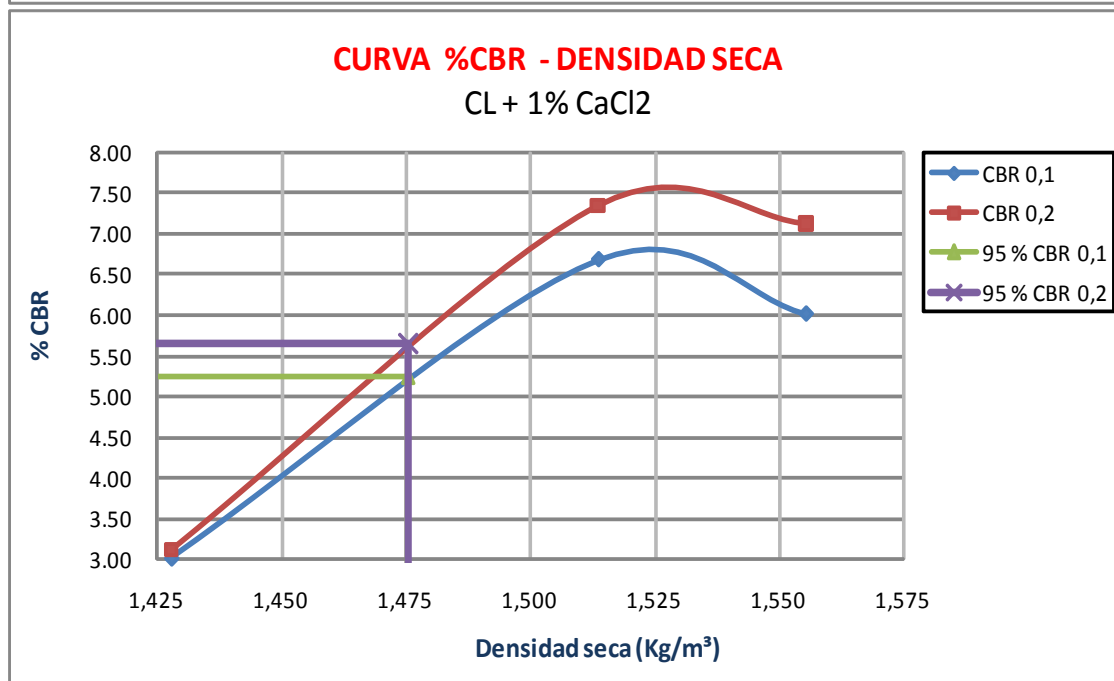
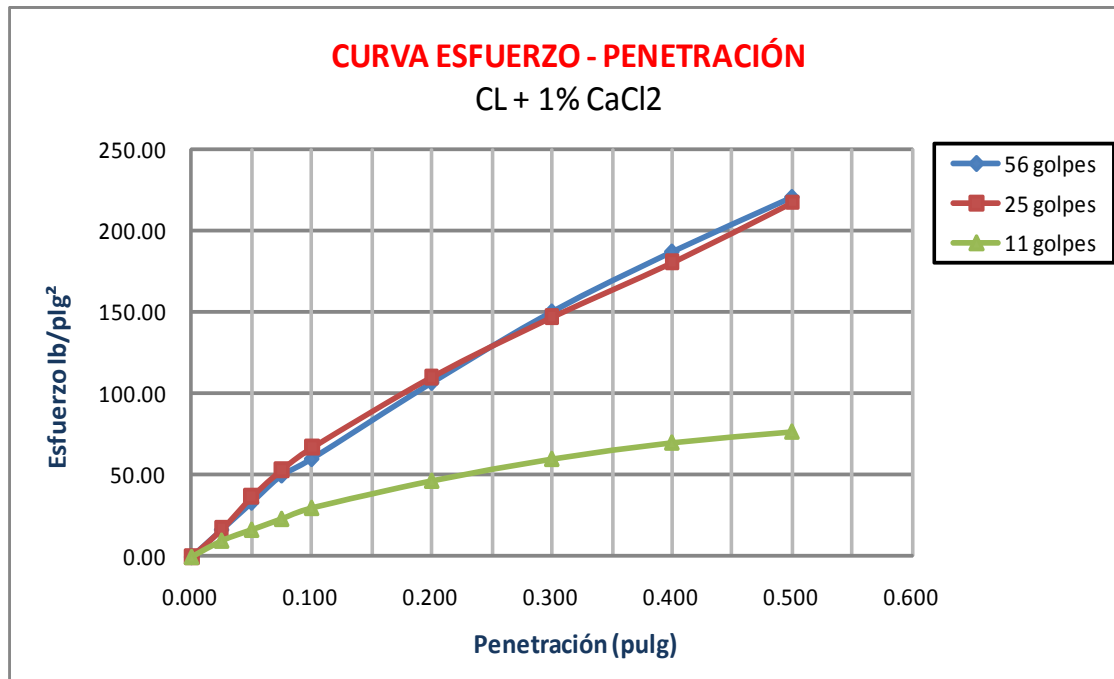
VALORES CBR

presión lb/plg ²	valor CBR 0.1"	presión lb/plg ²	valor CBR 0.2"
60.12	6.01	106.88	7.13
66.80	6.68	110.22	7.35
30.06	3.01	46.76	3.12
CBR (95% gd max.) = 5.24		CBR (95% gd max.) = 5.65	

PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATOLICA DEL ECUADOR

ENSAYO DE CBR EN LABORATORIO

SUELO CL+1% CaCl₂ ABS: 3+000
NORMA ASTM D - 1883



PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATOLICA DEL ECUADOR

ENSAYO DE CBR EN LABORATORIO

SUELO CL+1.5% CaCl₂ **ABS:** 3+000
NORMA ASTM D - 1883

DATOS DEL ENSAYO DE COMPACTACIÓN

DENSIDAD MÁXIMA :	1.553	gr/cm ³	HUMEDAD ÓPTIMA:	22.55	%
--------------------------	-------	--------------------	------------------------	-------	---

DATOS DE MOLDEO

N° DE CAPAS : 5 **ALTURA DE CAIDA DEL**
PESO MARTILLO : 10 lb. **MARTILLO :** 457.2 mm.

MOLDES N°	C1	C2	C3
N° DE GOLPES POR CAPA	56	25	11
Peso molde + suelo húmedo (gr.)	11,164	10,523	10,628
Peso molde (gr.)	7,178	6,566	6,909
Peso suelo húmedo (gr.)	3,986	3,957	3,719
Volumen del molde (cm³)	2,124	2,124	2,124
Densidad húmeda (gr/cm³)	1,877	1,863	1,751

CONTENIDOS DE HUMEDAD AL MOLDEO

Peso cap. + suelo húmedo (gr.)	55.47	57.43	59.04	40.72	54.93	58.17
Peso cap. + suelo seco (gr.)	49.08	50.54	51.78	36.93	48.51	51.26
Peso cápsula (gr.)	18.71	18.31	18.25	18.38	18.23	18.70
Contenido de Humedad (%)	21.04	21.38	21.65	20.43	21.20	21.22
Humedad promedio (%)	21.21		21.04		21.21	
Densidad húmeda (gr/cm³)	1,548		1,539		1,445	

CONTENIDOS DE HUMEDAD LUEGO DE LA SATURACIÓN

Peso cap. + suelo húmedo (gr.)	40.25	40.64	44.55	43.26	46.23	45.14
Peso cap. + suelo seco (gr.)	36.07	36.74	39.84	38.74	40.96	40.00
Peso cápsula (gr.)	17.64	18.96	18.93	18.40	19.00	18.39
Contenido de Humedad (%)	22.68	21.93	22.53	22.22	24.00	23.79
Humedad promedio (%)	22.31		22.37		23.89	

PORCENTAJE DE AGUA ABSORBIDA DESPUÉS DE LA SATURACIÓN

Peso molde + suelo húmedo (gr.)	11,202	10,583	10,780
Agua absorbida (gr.)	38	60	152
Agua absorbida (%)	0.95	1.52	4.09

PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATOLICA DEL ECUADOR

ENSAYO DE CBR EN LABORATORIO

SUELO CL+1.5% CaCl₂ **ABS:** 3+000
NORMA ASTM D - 1883

ESPONJAMIENTO

MOLDES N°	C1		C2		C3	
Tiempo (días)	dial	%	dial	%	dial	%
0	0	0.00	0	0.00	0	0.00
1	12	0.26	18	0.38	36	0.77
2	14	0.30	24	0.51	42	0.90
3	15	0.32	25	0.53	43	0.92
4	16	0.34	26	0.56	43	0.92

PENETRACIÓN

Constante anillo = (10,02*Lectura)/3

MOLDES N°	C1		C2		C3	
penetración (pulgadas)	56 Golpes		25 Golpes		11 Golpes	
	dial	presión lb/plg ²	dial	presión lb/plg ²	dial	presión lb/plg ²
0.000	0	0.00	0	0.00	0	0.00
0.025	5	16.70	4	13.36	3	10.02
0.050	8	26.72	7	23.38	6	20.04
0.075	12	40.08	12	40.08	8	26.72
0.100	14	46.76	15	50.10	10	33.40
0.200	24	80.16	26	86.84	17	56.78
0.300	32	106.88	36	120.24	22	73.48
0.400	39	130.26	44	146.96	26	86.84
0.500	46	153.64	52	173.68	31	103.54

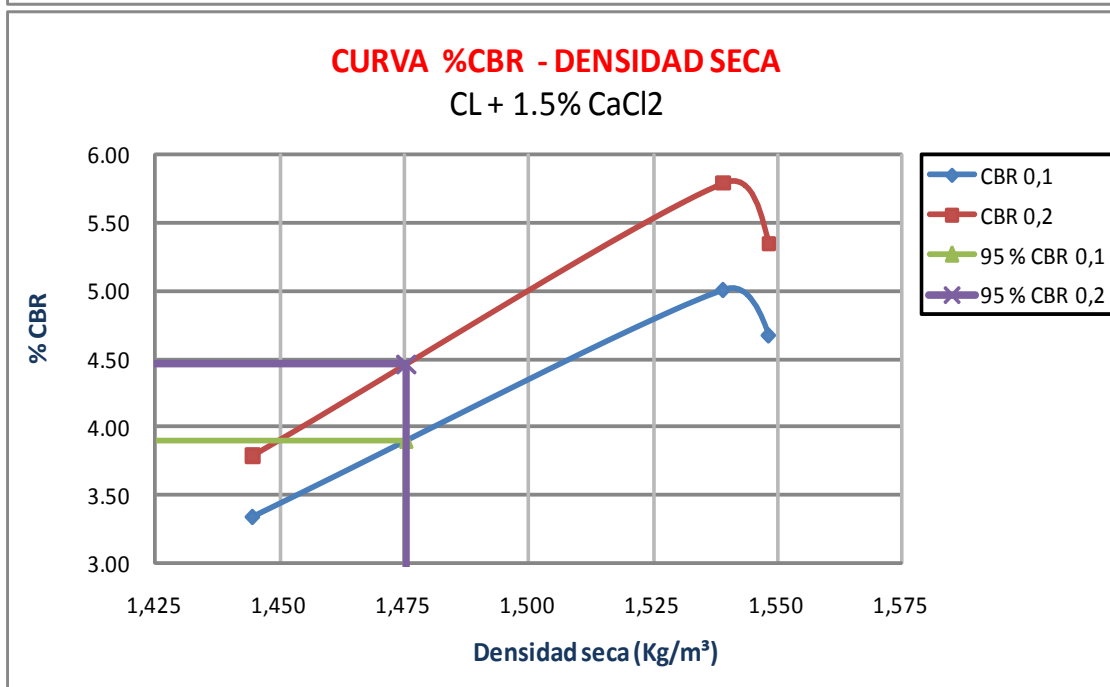
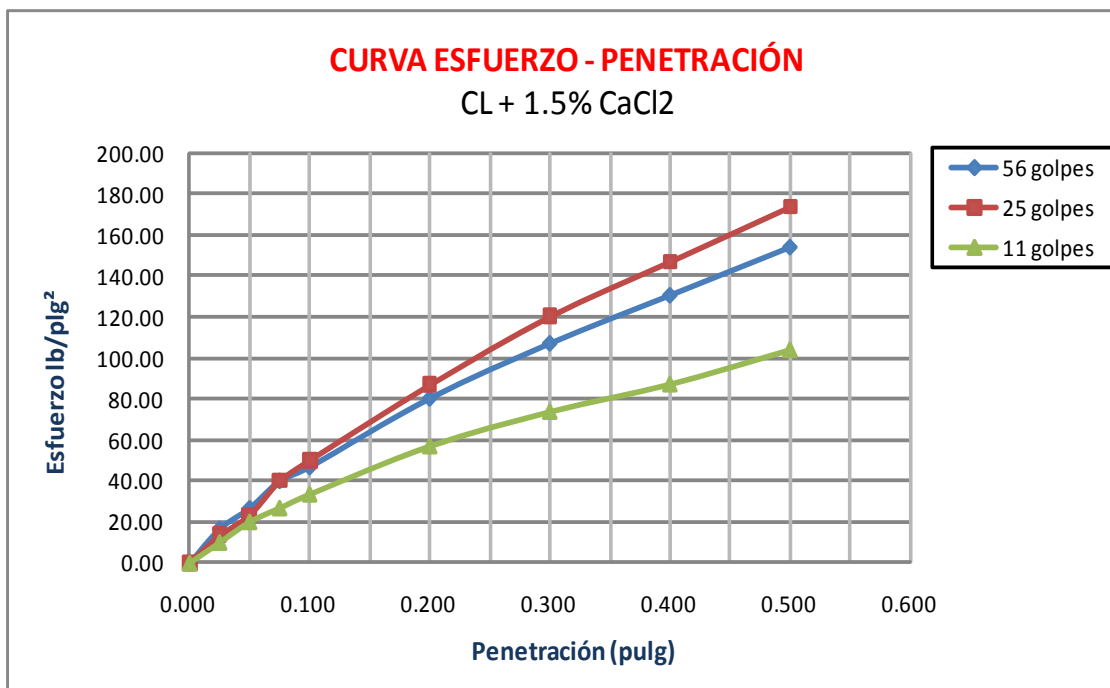
VALORES CBR

presión lb/plg ²	valor CBR 0.1"	presión lb/plg ²	valor CBR 0.2"
46.76	4.68	80.16	5.34
50.10	5.01	86.84	5.79
33.40	3.34	56.78	3.79
CBR (95% gd max.) = 3.90		CBR (95% gd max.) = 4.46	

PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATOLICA DEL ECUADOR

ENSAYO DE CBR EN LABORATORIO

SUELO CL+1.5% CaCl₂ ABS: 3+000
 NORMA ASTM D - 1883



PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATOLICA DEL ECUADOR

ENSAYO DE CBR EN LABORATORIO

SUELO CL+2% CaCl₂ **ABS:** 3+000
NORMA ASTM D - 1883

DATOS DEL ENSAYO DE COMPACTACIÓN

DENSIDAD MÁXIMA :	1.553	gr/cm ³	HUMEDAD ÓPTIMA:	22.55	%
--------------------------	-------	--------------------	------------------------	-------	---

DATOS DE MOLDEO

N° DE CAPAS : 5 **ALTURA DE CAIDA DEL**
PESO MARTILLO : 10 lb. **MARTILLO :** 457.2 mm.

MOLDES N°	Z4	Z5	Z6
N° DE GOLPES POR CAPA	56	25	11
Peso molde + suelo húmedo (gr.)	10,742	10,665	10,369
Peso molde (gr.)	6,707	6,680	6,656
Peso suelo húmedo (gr.)	4,035	3,985	3,713
Volumen del molde (cm³)	2,124	2,124	2,124
Densidad húmeda (gr/cm³)	1,900	1,876	1,748

CONTENIDOS DE HUMEDAD AL MOLDEO

Peso cap. + suelo húmedo (gr.)	49.29	45.78	58.48	64.72	58.93	58.02
Peso cap. + suelo seco (gr.)	43.82	40.79	51.24	56.60	51.77	50.90
Peso cápsula (gr.)	18.44	17.69	18.14	18.74	18.51	18.58
Contenido de Humedad (%)	21.55	21.60	21.87	21.45	21.53	22.03
Humedad promedio (%)	21.58		21.66		21.78	
Densidad húmeda (gr/cm³)	1,563		1,542		1,435	

CONTENIDOS DE HUMEDAD LUEGO DE LA SATURACIÓN

Peso cap. + suelo húmedo (gr.)	41.39	52.74	38.72	55.19	46.88	40.10
Peso cap. + suelo seco (gr.)	37.19	45.50	34.87	48.08	41.10	35.67
Peso cápsula (gr.)	18.53	18.29	18.32	18.91	18.18	18.38
Contenido de Humedad (%)	22.51	26.61	23.26	24.37	25.22	25.62
Humedad promedio (%)	24.56		23.82		25.42	

PORCENTAJE DE AGUA ABSORBIDA DESPUÉS DE LA SATURACIÓN

Peso molde + suelo húmedo (gr.)	10,782	10,722	10,534
Agua absorbida (gr.)	40	57	165
Agua absorbida (%)	0.99	1.43	4.44

PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATOLICA DEL ECUADOR

ENSAYO DE CBR EN LABORATORIO

SUELO CL+2% CaCl₂ **ABS:** 3+000
NORMA ASTM D - 1883

ESPONJAMIENTO

MOLDES N°	Z4		Z5		Z6	
Tiempo (días)	dial	%	dial	%	dial	%
0	0	0.00	0	0.00	0	0.00
1	23	0.49	25	0.53	49	1.05
2	23	0.49	32	0.68	52	1.11
3	23	0.49	36	0.77	53	1.13
4	24	0.51	38	0.81	53	1.13

PENETRACIÓN

Constante anillo = (10,02*Lectura)/3

MOLDES N°	Z4		Z5		Z6	
penetración (pulgadas)	56 Golpes		25 Golpes		11 Golpes	
	dial	presión lb/plg ²	dial	presión lb/plg ²	dial	presión lb/plg ²
0.000	0	0.00	0	0.00	0	0.00
0.025	5	16.70	4	13.36	3	10.02
0.050	9	30.06	7	23.38	5	16.70
0.075	13	43.42	11	36.74	7	23.38
0.100	17	56.78	14	46.76	9	30.06
0.200	29	96.86	24	80.16	15	50.10
0.300	38	126.92	31	103.54	20	66.80
0.400	47	156.98	38	126.92	24	80.16
0.500	56	187.04	45	150.30	27	90.18

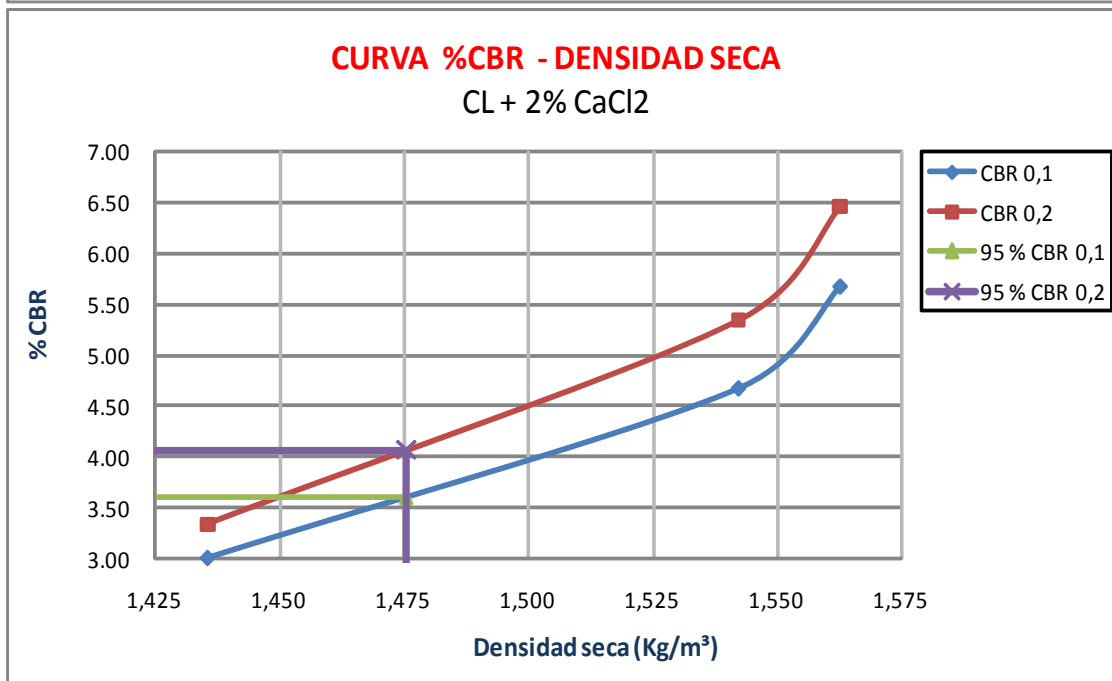
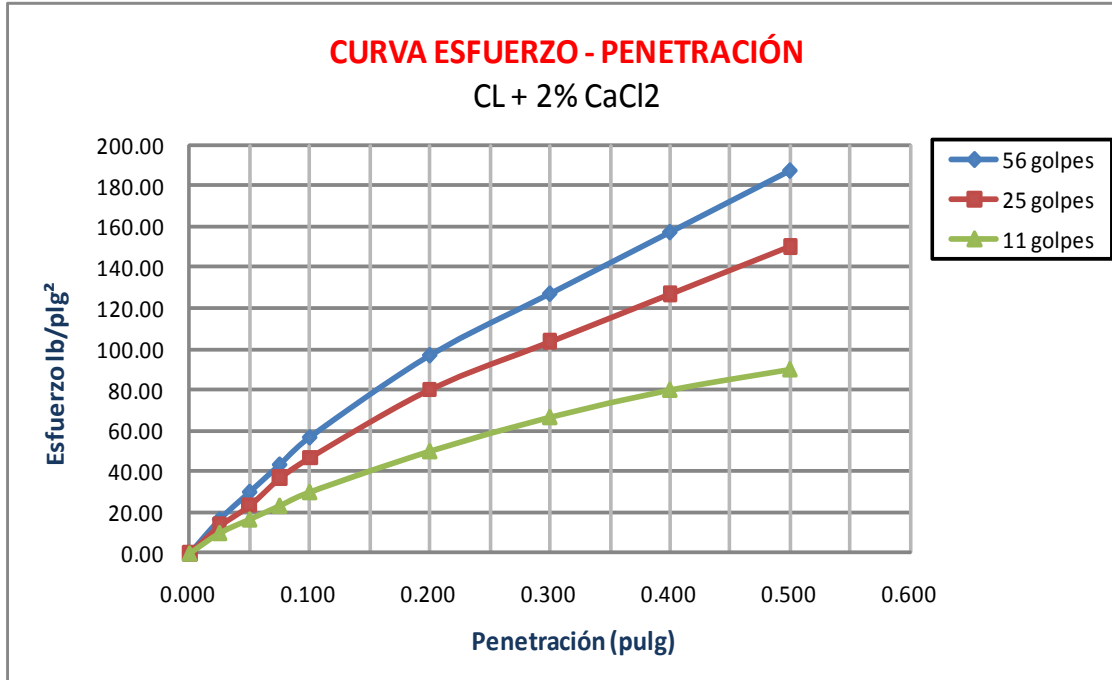
VALORES CBR

presión lb/plg ²	valor CBR 0.1"	presión lb/plg ²	valor CBR 0.2"
56.78	5.68	96.86	6.46
46.76	4.68	80.16	5.34
30.06	3.01	50.10	3.34
CBR (95% gd max.) = 3.60		CBR (95% gd max.) = 4.07	

PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATOLICA DEL ECUADOR

ENSAYO DE CBR EN LABORATORIO

SUELO CL+2% CaCl₂ ABS: 3+000
NORMA ASTM D - 1883



PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATOLICA DEL ECUADOR

ENSAYO DE CBR EN LABORATORIO

SUELO MH ABS: 0+500
 NORMA ASTM D-1883

DATOS DEL ENSAYO DE COMPACTACIÓN

DENSIDAD MÁXIMA :	1.402	gr/cm ³	HUMEDAD ÓPTIMA:	31.25	%
--------------------------	-------	--------------------	------------------------	-------	---

DATOS DE MOLDEO

Nº DE CAPAS : 5 ALTURA DE CAIDA DEL
 PESO MARTILLO : 10 lb. MARTILLO : 457.2 mm.

MOLDES Nº	B2	C3	C2
Nº DE GOLPES POR CAPA	56	25	11
Peso molde + suelo húmedo (gr.)	10,197	10,446	9,764
Peso molde (gr.)	6,435	6,914	6,571
Peso suelo húmedo (gr.)	3,762	3,532	3,193
Volumen del molde (cm ³)	2,124	2,124	2,124
Densidad húmeda (gr/cm ³)	1,771	1,663	1,503

CONTENIDOS DE HUMEDAD AL MOLDEO

Peso cap. + suelo húmedo (gr.)	50.27	49.12	41.64	44.48	45.70	43.33
Peso cap. + suelo seco (gr.)	42.74	42.11	36.35	38.52	39.30	37.69
Peso cápsula (gr.)	18.32	18.12	18.49	18.41	17.89	18.49
Contenido de Humedad (%)	30.84	29.22	29.62	29.64	29.89	29.38
Humedad promedio (%)	30.03		29.63		29.63	
Densidad húmeda (gr/cm ³)	1,362		1,283		1,160	

CONTENIDOS DE HUMEDAD LUEGO DE LA SATURACIÓN

Peso cap. + suelo húmedo (gr.)	45.78	36.38	37.65	46.48	39.08	43.48
Peso cap. + suelo seco (gr.)	38.07	31.94	30.56	37.95	32.65	35.37
Peso cápsula (gr.)	18.47	18.41	18.30	18.36	18.13	18.45
Contenido de Humedad (%)	39.34	32.82	57.83	43.54	44.28	47.93
Humedad promedio (%)	36.08		50.69		46.11	

PORCENTAJE DE AGUA ABSORBIDA DESPUÉS DE LA SATURACIÓN

Peso molde + suelo húmedo (gr.)	10,477	10,888	10,299
Agua absorbida (gr.)	280	442	535
Agua absorbida (%)	7.44	12.51	16.76

PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATOLICA DEL ECUADOR

ENSAYO DE CBR EN LABORATORIO

SUELO MH **ABS:** 0+500
NORMA ASTM D-1883

ESPONJAMIENTO

MOLDES N°	B2		C3		C2	
Tiempo (días)	dial	%	dial	%	dial	%
0	0	0.00	0	0.00	0	0.00
1	322	6.88	292	6.24	333	7.12
2	418	8.93	402	8.59	334	7.14
3	463	9.89	433	9.25	334	7.14
4	500	10.68	448	9.57	345	7.37

PENETRACIÓN

Constante anillo = (10,02*Lectura)/3

MOLDES N°	B2		C3		C2	
penetración (pulgadas)	56 Golpes		25 Golpes		11 Golpes	
	dial	presión lb/plg ²	dial	presión lb/plg ²	dial	presión lb/plg ²
0.000	0	0.00	0	0.00	0	0.00
0.025	1	3.34	1	3.34	1	3.34
0.050	2	6.68	2	6.68	1	3.34
0.075	3	10.02	3	10.02	2	6.68
0.100	3	10.02	3	10.02	2	6.68
0.200	5	16.70	4	13.36	3	10.02
0.300	7	23.38	6	20.04	4	13.36
0.400	8	26.72	7	23.38	4	13.36
0.500	9	30.06	8	26.72	5	16.70

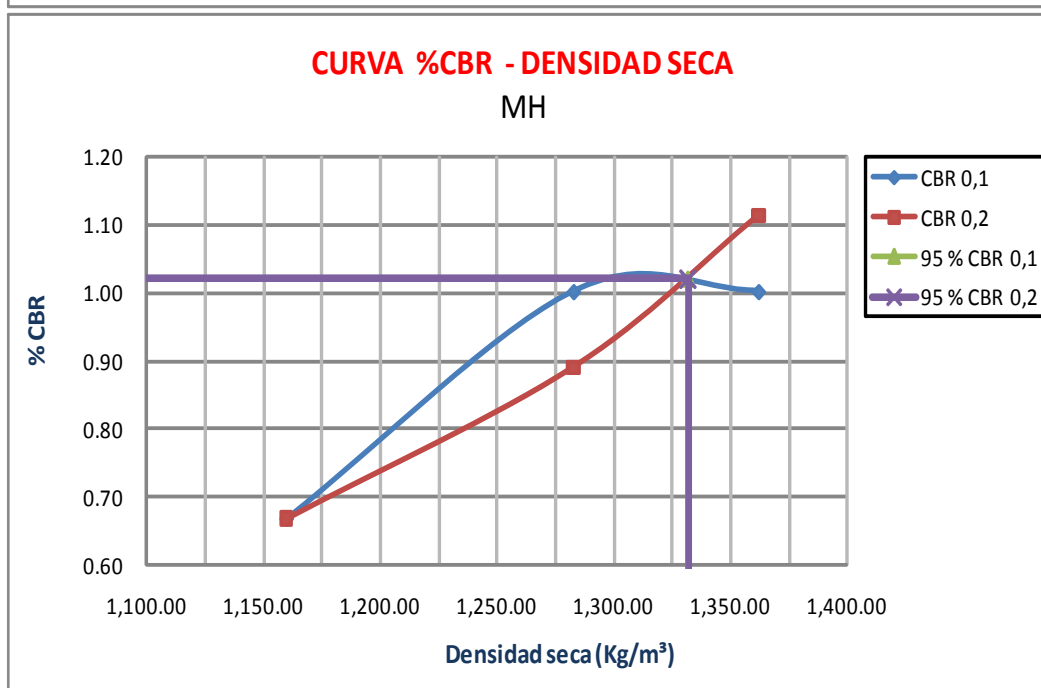
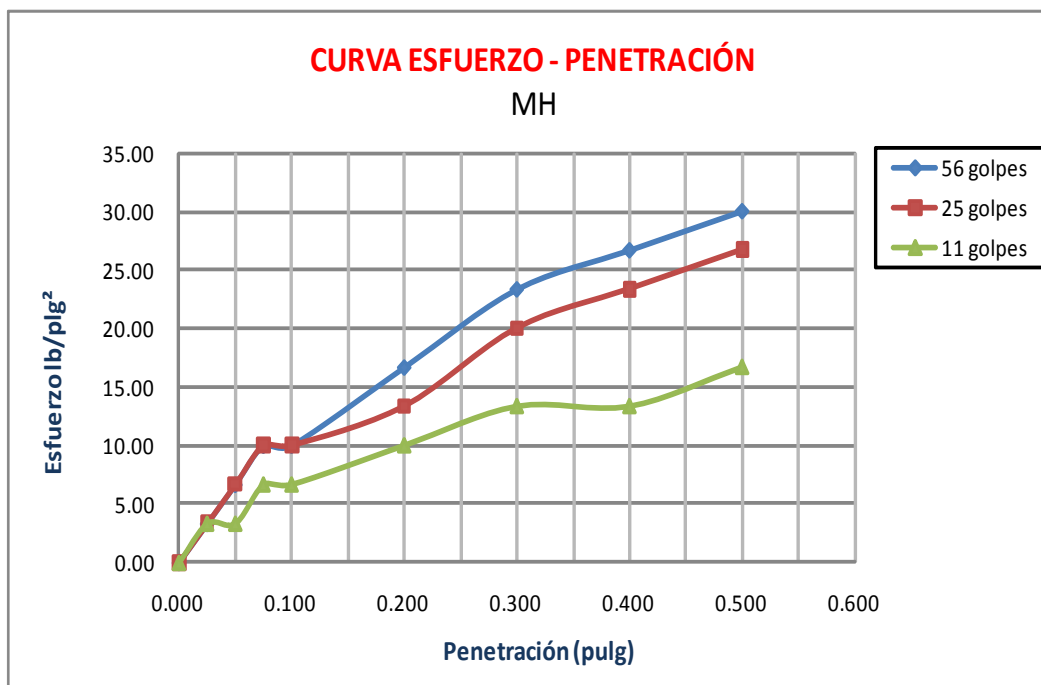
VALORES CBR

presión lb/plg ²	valor CBR 0.1"	presión lb/plg ²	valor CBR 0.2"
10.02	1.00	16.70	1.11
10.02	1.00	13.36	0.89
6.68	0.67	10.02	0.67
CBR (95% gd max.) = 1.02		CBR (95% gd max.) = 1.02	

PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATOLICA DEL ECUADOR

ENSAYO DE CBR EN LABORATORIO

SUELO MH ABS: 0+500
NORMA ASTM D-1883



PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATOLICA DEL ECUADOR

ENSAYO DE CBR EN LABORATORIO

SUELO MH+0.5% CaCl₂ **ABS:** 0+500
NORMA ASTM D-1883

DATOS DEL ENSAYO DE COMPACTACIÓN

DENSIDAD MÁXIMA : 1.402 gr/cm ³	HUMEDAD ÓPTIMA: 31.25 %
---	--------------------------------

DATOS DE MOLDEO

N° DE CAPAS : 5 **ALTURA DE CAIDA DEL**
PESO MARTILLO : 10 lb. **MARTILLO :** 457.2 mm.

MOLDES N°	Z4	Z5	Z6
N° DE GOLPES POR CAPA	56	25	11
Peso molde + suelo húmedo (gr.)	10,588	10,329	9,768
Peso molde (gr.)	6,710	6,682	6,659
Peso suelo húmedo (gr.)	3,878	3,647	3,109
Volumen del molde (cm³)	2,124	2,124	2,124
Densidad húmeda (gr/cm³)	1,826	1,717	1,464

CONTENIDOS DE HUMEDAD AL MOLDEO

Peso cap. + suelo húmedo (gr.)	46.43	47.51	46.85	41.97	43.01	48.79
Peso cap. + suelo seco (gr.)	40.02	41.29	40.98	36.60	37.56	41.96
Peso cápsula (gr.)	18.31	19.95	20.86	18.50	18.82	18.94
Contenido de Humedad (%)	29.53	29.15	29.17	29.67	29.08	29.67
Humedad promedio (%)	29.34		29.42		29.38	
Densidad húmeda (gr/cm³)	1,412		1,327		1,131	

CONTENIDOS DE HUMEDAD LUEGO DE LA SATURACIÓN

Peso cap. + suelo húmedo (gr.)	39.77	43.56	44.96	50.73	54.26	50.84
Peso cap. + suelo seco (gr.)	32.89	37.22	37.84	39.53	42.78	38.83
Peso cápsula (gr.)	18.23	18.45	18.49	17.92	18.39	18.00
Contenido de Humedad (%)	46.93	33.78	36.80	51.83	47.07	57.66
Humedad promedio (%)	40.35		44.31		52.36	

PORCENTAJE DE AGUA ABSORBIDA DESPUÉS DE LA SATURACIÓN

Peso molde + suelo húmedo (gr.)	10,882	10,699	10,276
Agua absorbida (gr.)	294	370	508
Agua absorbida (%)	7.58	10.15	16.34

PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATOLICA DEL ECUADOR

ENSAYO DE CBR EN LABORATORIO

SUELO MH+0.5% CaCl₂ **ABS:** 0+500
NORMA ASTM D-1883

ESPONJAMIENTO

MOLDES N°	Z4		Z5		Z6	
Tiempo (días)	dial	%	dial	%	dial	%
0	0	0.00	0	0.00	0	0.00
1	245	5.24	297	6.35	270	5.77
2	250	5.34	379	8.10	273	5.83
3	413	8.82	406	8.68	278	5.94
4	444	9.49	411	8.78	284	6.07

PENETRACIÓN

Constante anillo = (10,02*Lectura)/3

MOLDES N°	Z4		Z5		Z6	
penetración (pulgadas)	56 Golpes		25 Golpes		11 Golpes	
	dial	presión lb/plg ²	dial	presión lb/plg ²	dial	presión lb/plg ²
0.000	0	0.00	0	0.00	0	0.00
0.025	2	6.68	2	6.68	1	3.34
0.050	3	10.02	3	10.02	2	6.68
0.075	4	13.36	4	13.36	3	10.02
0.100	5	16.70	5	16.70	3.5	11.69
0.200	6	20.04	7	23.38	5	16.70
0.300	8	26.72	9	30.06	6.5	21.71
0.400	10	33.40	11	36.74	8	26.72
0.500	11	36.74	13	43.42	9	30.06

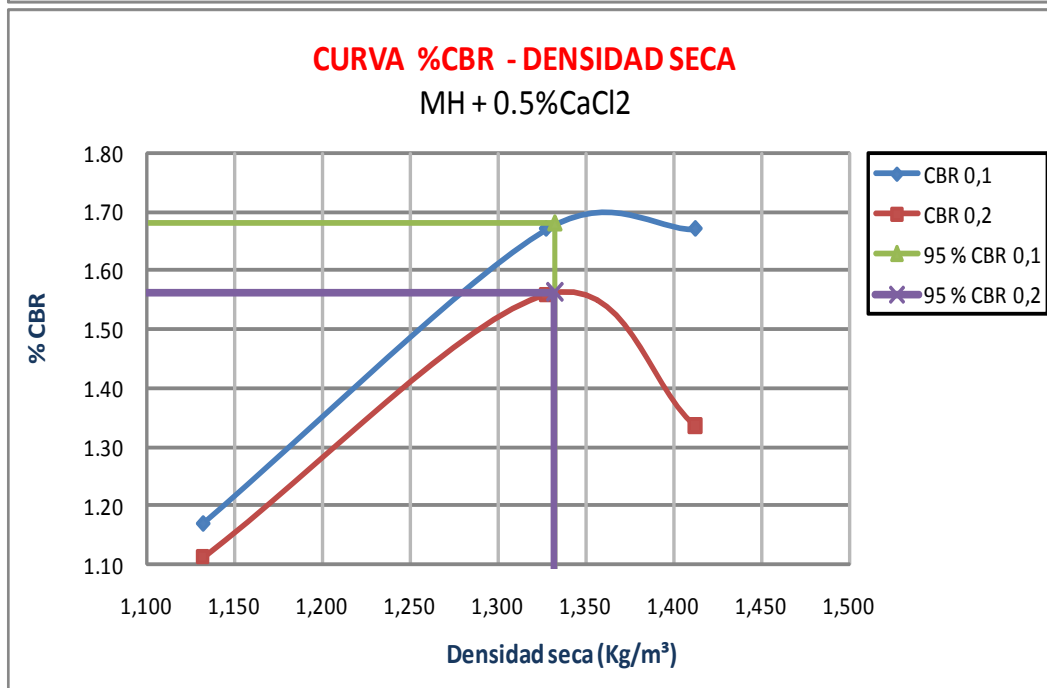
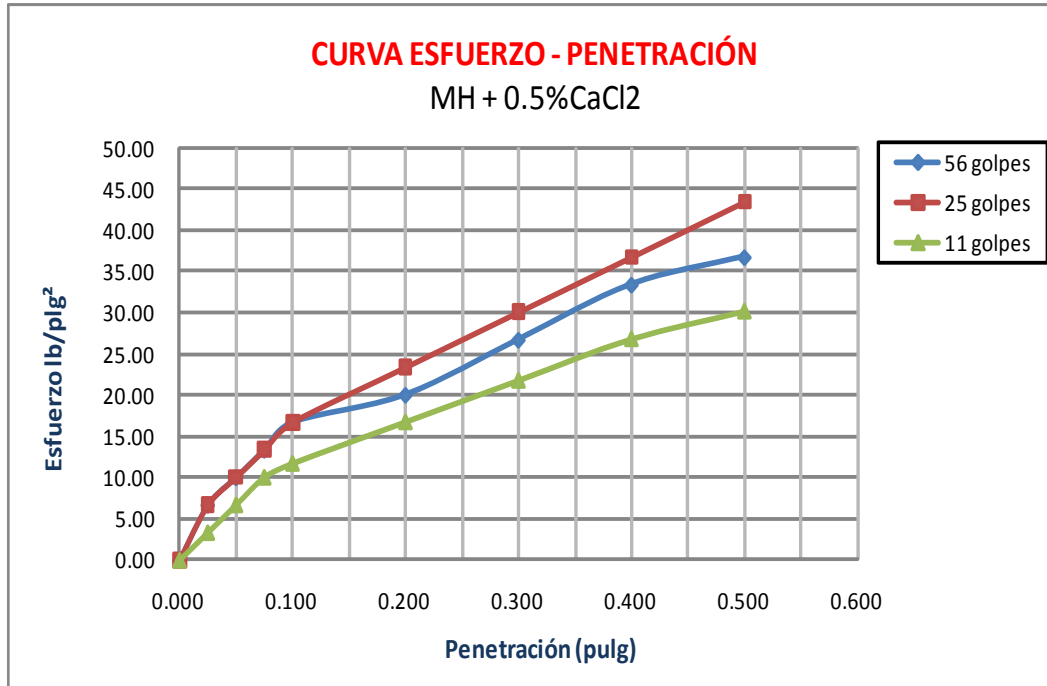
VALORES CBR

presión lb/plg ²	valor CBR 0.1"	presión lb/plg ²	valor CBR 0.2"
16.70	1.67	20.04	1.34
16.70	1.67	23.38	1.56
11.69	1.17	16.70	1.11
CBR (95% gd max.) = 1.68		CBR (95% gd max.) = 1.56	

PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATOLICA DEL ECUADOR

ENSAYO DE CBR EN LABORATORIO

SUELO MH+0.5% CaCl₂ ABS: 0+500
NORMA ASTM D-1883



PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATOLICA DEL ECUADOR

ENSAYO DE CBR EN LABORATORIO

SUELO MH+1% CaCl₂ ABS: 0+500
 NORMA ASTM D-1883

DATOS DEL ENSAYO DE COMPACTACIÓN

DENSIDAD MÁXIMA :	1.402	gr/cm ³	HUMEDAD ÓPTIMA:	31.25	%
--------------------------	-------	--------------------	------------------------	-------	---

DATOS DE MOLDEO

Nº DE CAPAS : 5 ALTURA DE CAIDA DEL
 PESO MARTILLO : 10 lb. MARTILLO : 457.2 mm.

MOLDES Nº	Z7	Z9	Z8
Nº DE GOLPES POR CAPA	56	25	11
Peso molde + suelo húmedo (gr.)	10,594	10,285	9,856
Peso molde (gr.)	6,668	6,656	6,657
Peso suelo húmedo (gr.)	3,926	3,629	3,199
Volumen del molde (cm ³)	2,124	2,124	2,124
Densidad húmeda (gr/cm ³)	1,848	1,709	1,506

CONTENIDOS DE HUMEDAD AL MOLDEO

Peso cap. + suelo húmedo (gr.)	43.88	38.85	51.35	48.57	46.88	46.06
Peso cap. + suelo seco (gr.)	38.10	34.20	44.05	41.56	40.45	39.55
Peso cápsula (gr.)	18.49	18.49	18.67	17.68	18.15	17.59
Contenido de Humedad (%)	29.47	29.60	28.76	29.36	28.83	29.64
Humedad promedio (%)	29.54		29.06		29.24	
Densidad húmeda (gr/cm ³)	1,427		1,324		1,165	

CONTENIDOS DE HUMEDAD LUEGO DE LA SATURACIÓN

Peso cap. + suelo húmedo (gr.)	44.76	47.14	44.87	47.87	45.98	40.06
Peso cap. + suelo seco (gr.)	37.58	37.14	36.07	38.54	36.24	33.26
Peso cápsula (gr.)	18.51	18.17	18.26	17.98	18.67	17.60
Contenido de Humedad (%)	37.65	52.71	49.41	45.38	55.44	43.42
Humedad promedio (%)	45.18		47.39		49.43	

PORCENTAJE DE AGUA ABSORBIDA DESPUÉS DE LA SATURACIÓN

Peso molde + suelo húmedo (gr.)	10,854	10,629	10,321
Agua absorbida (gr.)	260	344	465
Agua absorbida (%)	6.62	9.48	14.54

PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATOLICA DEL ECUADOR

ENSAYO DE CBR EN LABORATORIO

SUELO MH+1% CaCl₂ **ABS:** 0+500
NORMA ASTM D-1883

ESPONJAMIENTO

MOLDES N°	Z7		Z9		Z8	
Tiempo (días)	dial	%	dial	%	dial	%
0	0	0.00	0	0.00	0	0.00
1	254	5.43	261	5.58	265	5.66
2	333	7.12	317	6.77	269	5.75
3	612	13.08	328	7.01	272	5.81
4	649	13.87	333	7.12	273	5.83

PENETRACIÓN

Constante anillo = (10,02*Lectura)/3

MOLDES N°	Z7		Z9		Z8	
penetración (pulgadas)	56 Golpes		25 Golpes		11 Golpes	
	dial	presión lb/plg ²	dial	presión lb/plg ²	dial	presión lb/plg ²
0.000	0	0.00	0	0.00	0	0.00
0.025	1	3.34	2	6.68	1.5	5.01
0.050	2	6.68	3	10.02	2	6.68
0.075	2	6.68	4	13.36	3	10.02
0.100	3	10.02	5	16.70	3.5	11.69
0.200	4	13.36	8	25.05	6	20.04
0.300	5	16.70	9	30.06	7.5	25.05
0.400	6	20.04	11	36.74	9	30.06
0.500	7	23.38	13	43.42	11	36.74

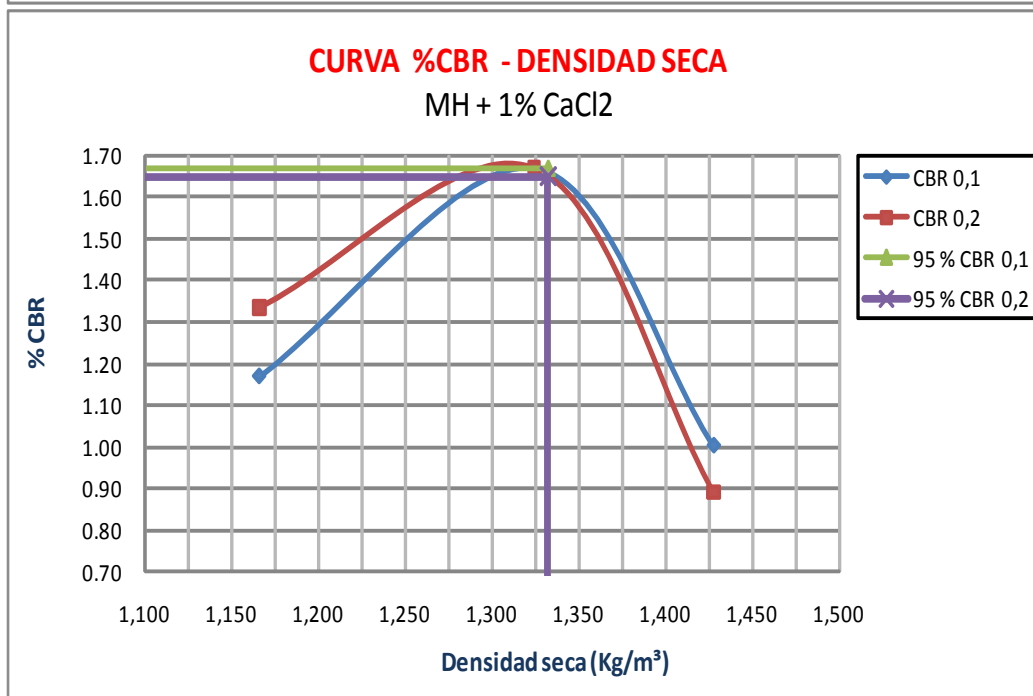
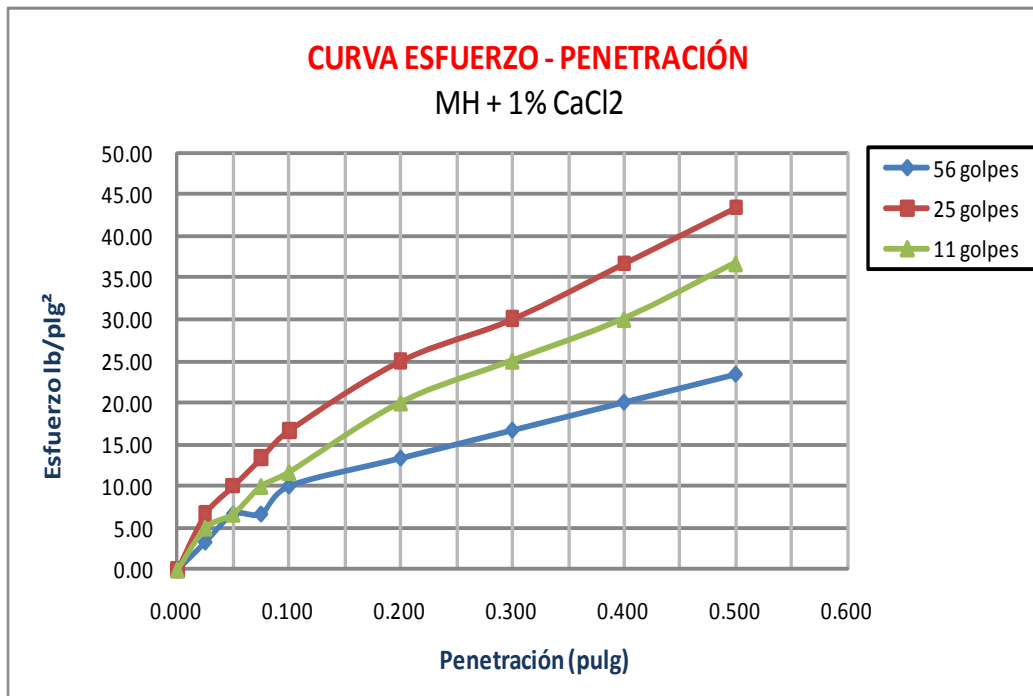
VALORES CBR

presión lb/plg ²	valor CBR 0.1"	presión lb/plg ²	valor CBR 0.2"
10.02	1.00	13.36	0.89
16.70	1.67	25.05	1.67
11.69	1.17	20.04	1.34
CBR (95% gd max.) = 1.67		CBR (95% gd max.) = 1.65	

PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATOLICA DEL ECUADOR

ENSAYO DE CBR EN LABORATORIO

SUELO MH+1% CaCl₂ ABS: 0+500
NORMA ASTM D-1883



PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATOLICA DEL ECUADOR

ENSAYO DE CBR EN LABORATORIO

SUELO MH+1.5% CaCl₂ ABS: 0+500
 NORMA ASTM D-1883

DATOS DEL ENSAYO DE COMPACTACIÓN

DENSIDAD MÁXIMA :	1.402	gr/cm ³	HUMEDAD ÓPTIMA:	31.25	%
--------------------------	-------	--------------------	------------------------	-------	---

DATOS DE MOLDEO

Nº DE CAPAS : 5 ALTURA DE CAIDA DEL
 PESO MARTILLO : 10 lb. MARTILLO : 457.2 mm.

MOLDES Nº	C1	D3	D2
Nº DE GOLPES POR CAPA	56	25	11
Peso molde + suelo húmedo (gr.)	11,130	10,860	10,337
Peso molde (gr.)	7,183	7,150	7,184
Peso suelo húmedo (gr.)	3,947	3,710	3,153
Volumen del molde (cm ³)	2,124	2,124	2,124
Densidad húmeda (gr/cm ³)	1,858	1,747	1,484

CONTENIDOS DE HUMEDAD AL MOLDEO

Peso cap. + suelo húmedo (gr.)	45.81	44.37	39.30	51.32	44.20	44.83
Peso cap. + suelo seco (gr.)	39.68	38.62	34.84	44.05	38.36	38.92
Peso cápsula (gr.)	17.99	18.48	18.43	17.86	18.22	18.24
Contenido de Humedad (%)	28.26	28.55	27.18	27.76	29.00	28.58
Humedad promedio (%)	28.41		27.47		28.79	
Densidad húmeda (gr/cm ³)	1,447		1,370		1,153	

CONTENIDOS DE HUMEDAD LUEGO DE LA SATURACIÓN

Peso cap. + suelo húmedo (gr.)	52.06	54.22	55.43	61.88	53.38	45.53
Peso cap. + suelo seco (gr.)	42.89	44.54	44.83	49.66	42.06	36.32
Peso cápsula (gr.)	18.41	18.93	16.98	18.55	18.05	18.40
Contenido de Humedad (%)	37.46	37.80	38.06	39.28	47.15	51.40
Humedad promedio (%)	37.63		38.67		49.27	

PORCENTAJE DE AGUA ABSORBIDA DESPUÉS DE LA SATURACIÓN

Peso molde + suelo húmedo (gr.)	11,375	11,188	10,817
Agua absorbida (gr.)	245	328	480
Agua absorbida (%)	6.21	8.84	15.22

PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATOLICA DEL ECUADOR

ENSAYO DE CBR EN LABORATORIO

SUELO MH+1.5% CaCl₂ **ABS:** 0+500
NORMA ASTM D-1883

ESPONJAMIENTO

MOLDES N°	C1		D3		D2	
Tiempo (días)	dial	%	dial	%	dial	%
0	0	0.00	0	0.00	0	0.00
1	298	6.37	263	5.62	234	5.00
2	366	7.82	303	6.47	237	5.06
3	412	8.80	320	6.84	239	5.11
4	434	9.27	325	6.94	241	5.15

PENETRACIÓN

Constante anillo = (10,02*Lectura)/3

MOLDES N°	C1		D3		D2	
penetración (pulgadas)	56 Golpes		25 Golpes		11 Golpes	
	dial	presión lb/plg ²	dial	presión lb/plg ²	dial	presión lb/plg ²
0.000	0	0.00	0	0.00	0	0.00
0.025	2	5.01	1	3.34	0	0.00
0.050	2	6.68	2	6.68	0.5	1.67
0.075	4	11.69	3	10.02	1	3.34
0.100	5	16.70	6	20.04	1	3.34
0.200	6	20.04	9	28.39	2	6.68
0.300	8	26.72	11	36.74	3	10.02
0.400	10	33.40	13	41.75	5	16.70
0.500	11	36.74	14	46.76	6.5	21.71

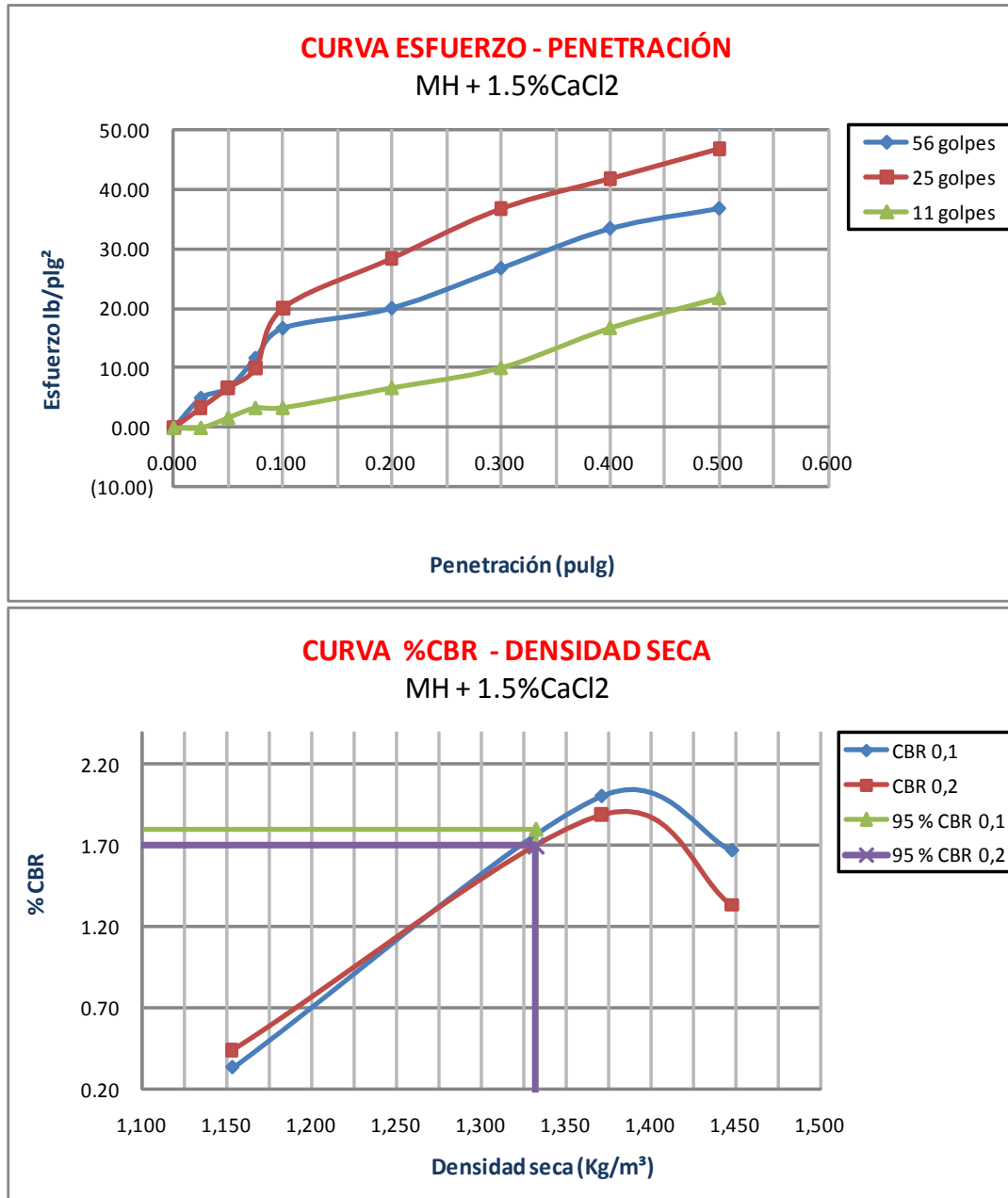
VALORES CBR

presión lb/plg ²	valor CBR 0.1"	presión lb/plg ²	valor CBR 0.2"
16.70	1.67	20.04	1.34
20.04	2.00	28.39	1.89
3.34	0.33	6.68	0.45
CBR (95% gd max.) = 1.80		CBR (95% gd max.) = 1.70	

PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATOLICA DEL ECUADOR

ENSAYO DE CBR EN LABORATORIO

SUELO MH+1.5% CaCl₂ ABS: 0+500
NORMA ASTM D-1883



PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATOLICA DEL ECUADOR

ENSAYO DE CBR EN LABORATORIO

SUELO MH+2% CaCl₂ ABS: 0+500
 NORMA ASTM D-1883

DATOS DEL ENSAYO DE COMPACTACIÓN

DENSIDAD MÁXIMA :	1.402	gr/cm ³	HUMEDAD ÓPTIMA:	31.25	%
--------------------------	-------	--------------------	------------------------	-------	---

DATOS DE MOLDEO

N° DE CAPAS : 5 ALTURA DE CAIDA DEL
 PESO MARTILLO : 10 lb. MARTILLO : 457.2 mm.

MOLDES N°	Z4	Z5	Z6
N° DE GOLPES POR CAPA	56	25	11
Peso molde + suelo húmedo (gr.)	10,668	10,400	9,966
Peso molde (gr.)	6,712	6,683	6,664
Peso suelo húmedo (gr.)	3,956	3,717	3,302
Volumen del molde (cm ³)	2,124	2,124	2,124
Densidad húmeda (gr/cm ³)	1,863	1,750	1,555

CONTENIDOS DE HUMEDAD AL MOLDEO

Peso cap. + suelo húmedo (gr.)	50.02	47.84	49.08	50.62	40.45	49.99
Peso cap. + suelo seco (gr.)	42.53	40.67	41.82	42.84	35.24	42.44
Peso cápsula (gr.)	18.69	18.15	17.98	17.93	18.23	18.25
Contenido de Humedad (%)	31.42	31.84	30.45	31.23	30.63	31.21
Humedad promedio (%)	31.63		30.84		30.92	
Densidad húmeda (gr/cm ³)	1,415		1,337		1,187	

CONTENIDOS DE HUMEDAD LUEGO DE LA SATURACIÓN

Peso cap. + suelo húmedo (gr.)	44.84	44.15	62.52	60.34	53.38	59.24
Peso cap. + suelo seco (gr.)	38.20	37.27	50.54	49.21	43.10	47.08
Peso cápsula (gr.)	18.04	18.67	18.54	18.50	17.96	18.39
Contenido de Humedad (%)	32.94	36.99	37.44	36.24	40.89	42.38
Humedad promedio (%)	34.96		36.84		41.64	

PORCENTAJE DE AGUA ABSORBIDA DESPUÉS DE LA SATURACIÓN

Peso molde + suelo húmedo (gr.)	10,884	10,697	10,375
Agua absorbida (gr.)	216	297	409
Agua absorbida (%)	5.46	7.99	12.39

PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATOLICA DEL ECUADOR

ENSAYO DE CBR EN LABORATORIO

SUELO MH+2% CaCl₂ **ABS:** 0+500
NORMA ASTM D-1883

ESPONJAMIENTO

MOLDES N°	Z4		Z5		Z6	
Tiempo (días)	dial	%	dial	%	dial	%
0	0	0.00	0	0.00	0	0.00
1	278	5.94	212	4.53	263	5.62
2	357	7.63	270	5.77	266	5.68
3	392	8.38	299	6.39	266	5.68
4	412	8.80	302	6.45	266	5.68

PENETRACIÓN

Constante anillo = (10,02*Lectura)/3

MOLDES N°	Z4		Z5		Z6	
penetración (pulgadas)	56 Golpes		25 Golpes		11 Golpes	
	dial	presión lb/plg ²	dial	presión lb/plg ²	dial	presión lb/plg ²
0.000	0	0.00	0	0.00	0	0.00
0.025	1	3.34	2	6.68	1	3.34
0.050	2	6.68	3	10.02	2	6.68
0.075	3	8.35	5	15.03	2.5	8.35
0.100	3	10.02	5	16.70	3	10.02
0.200	5	16.70	9	30.06	5	16.70
0.300	7	21.71	11	36.74	6	20.04
0.400	8	26.72	12	40.08	8	26.72
0.500	10	33.40	14	46.76	9	30.06

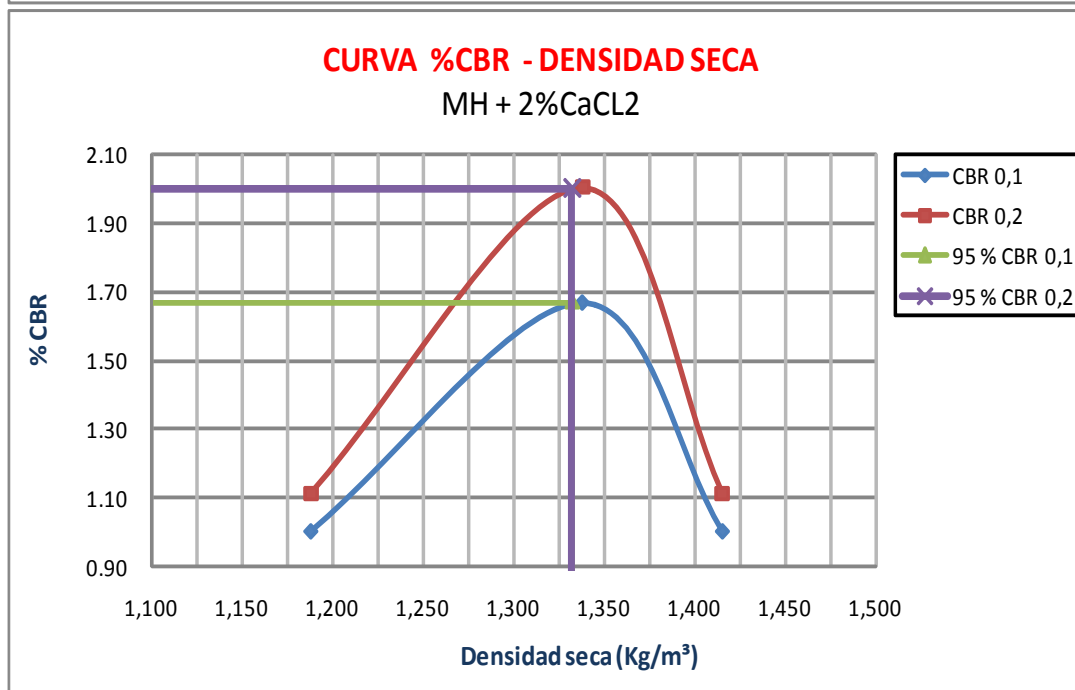
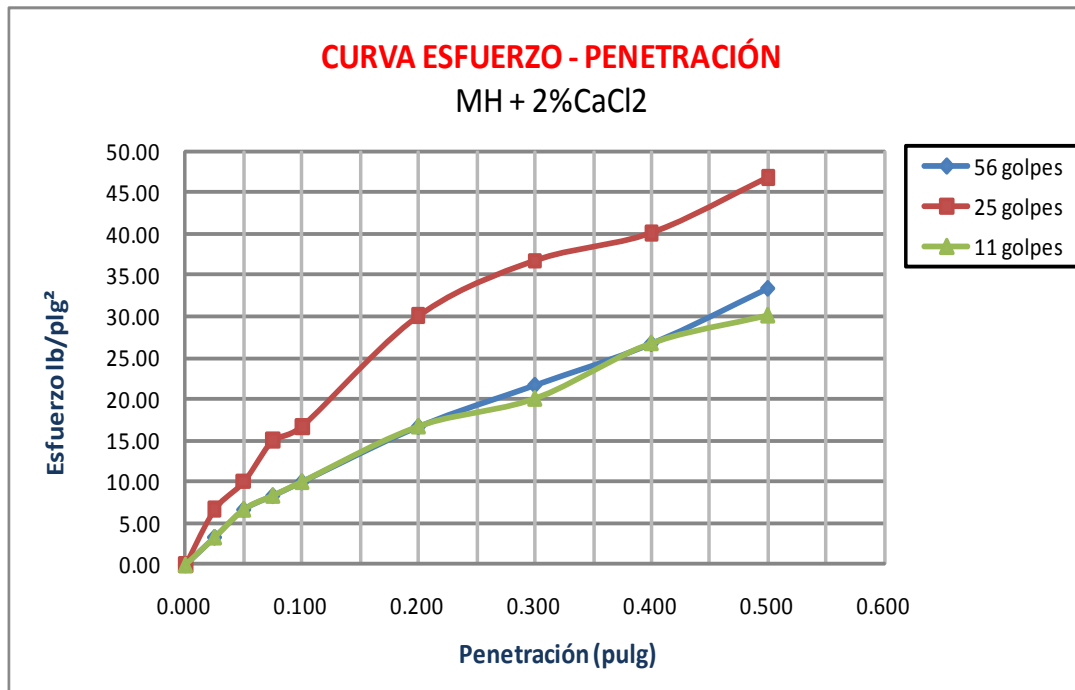
VALORES CBR

presión lb/plg ²	valor CBR 0.1"	presión lb/plg ²	valor CBR 0.2"
10.02	1.00	16.70	1.11
16.70	1.67	30.06	2.00
10.02	1.00	16.70	1.11
CBR (95% gd max.) = 1.67		CBR (95% gd max.) = 2.00	

PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATOLICA DEL ECUADOR

ENSAYO DE CBR EN LABORATORIO

SUELO MH+2% CaCl₂ ABS: 0+500
NORMA ASTM D-1883



PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATOLICA DEL ECUADOR

ENSAYO DE CBR EN LABORATORIO

SUELO SC ABS: 1+500
 NORMA ASTM D-1883

DATOS DEL ENSAYO DE COMPACTACIÓN

DENSIDAD MÁXIMA :	1.576	gr/cm ³	HUMEDAD ÓPTIMA:	23.00	%
--------------------------	-------	--------------------	------------------------	-------	---

DATOS DE MOLDEO

Nº DE CAPAS : 5 ALTURA DE CAIDA DEL
 PESO MARTILLO : 10 lb. MARTILLO : 457.2 mm.

MOLDES Nº	E2	14	C3
Nº DE GOLPES POR CAPA	56	25	11
Peso molde + suelo húmedo (gr.)	11,223	10,783	10,360
Peso molde (gr.)	7,173	6,985	6,926
Peso suelo húmedo (gr.)	4,050	3,798	3,434
Volumen del molde (cm ³)	2,124	2,124	2,124
Densidad húmeda (gr/cm ³)	1,907	1,788	1,617

CONTENIDOS DE HUMEDAD AL MOLDEO

Peso cap. + suelo húmedo (gr.)	57.97	55.58	44.50	50.47	43.56	37.67
Peso cap. + suelo seco (gr.)	50.21	48.42	39.25	44.27	38.83	34.07
Peso cápsula (gr.)	18.16	18.49	16.84	18.13	18.57	18.18
Contenido de Humedad (%)	24.21	23.92	23.43	23.72	23.35	22.66
Humedad promedio (%)	24.07		23.57		23.00	
Densidad húmeda (gr/cm ³)	1,537		1,447		1,314	

CONTENIDOS DE HUMEDAD LUEGO DE LA SATURACIÓN

Peso cap. + suelo húmedo (gr.)	61.60	66.43	52.88	57.66	47.40	45.48
Peso cap. + suelo seco (gr.)	53.16	56.91	45.21	48.65	40.20	38.88
Peso cápsula (gr.)	18.38	18.34	18.54	18.49	18.42	17.87
Contenido de Humedad (%)	24.27	24.68	28.76	29.87	33.06	31.41
Humedad promedio (%)	24.47		29.32		32.24	

PORCENTAJE DE AGUA ABSORBIDA DESPUÉS DE LA SATURACIÓN

Peso molde + suelo húmedo (gr.)	11,330	10,988	10,692
Agua absorbida (gr.)	107	205	332
Agua absorbida (%)	2.64	5.40	9.67

PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATOLICA DEL ECUADOR

ENSAYO DE CBR EN LABORATORIO

SUELO SC ABS: 1+500
 NORMA ASTM D-1883

<u>ESPONJAMIENTO</u>						
MOLDES N°	E2		14		C3	
Tiempo (días)	dial	%	dial	%	dial	%
0	0	0.00	0	0.00	0	0.00
1	39	0.83	33	0.71	59	1.26
2	44	0.94	41	0.88	60	1.28
3	46	0.98	44	0.94	61	1.30
4	48	1.03	45	0.96	61	1.30

<u>PENETRACIÓN</u>						
Constante anillo = (10,02*Lectura)/3						
MOLDES N°	E2		14		C3	
penetración (pulgadas)	56 Golpes		25 Golpes		11 Golpes	
	dial	presión lb/plg ²	dial	presión lb/plg ²	dial	presión lb/plg ²
0.000	0	0.00	0	0.00	0	0.00
0.025	14	46.76	11	36.74	3	10.02
0.050	26	86.84	23	76.82	5	16.70
0.075	36	120.24	34	113.56	7	23.38
0.100	45	150.30	44	146.96	9	30.06
0.200	76	253.84	63	210.42	12	40.08
0.300	95	317.30	72	240.48	13	43.42
0.400	110	367.40	81	270.54	17	56.78
0.500	127	424.18	89	297.26	22	73.48

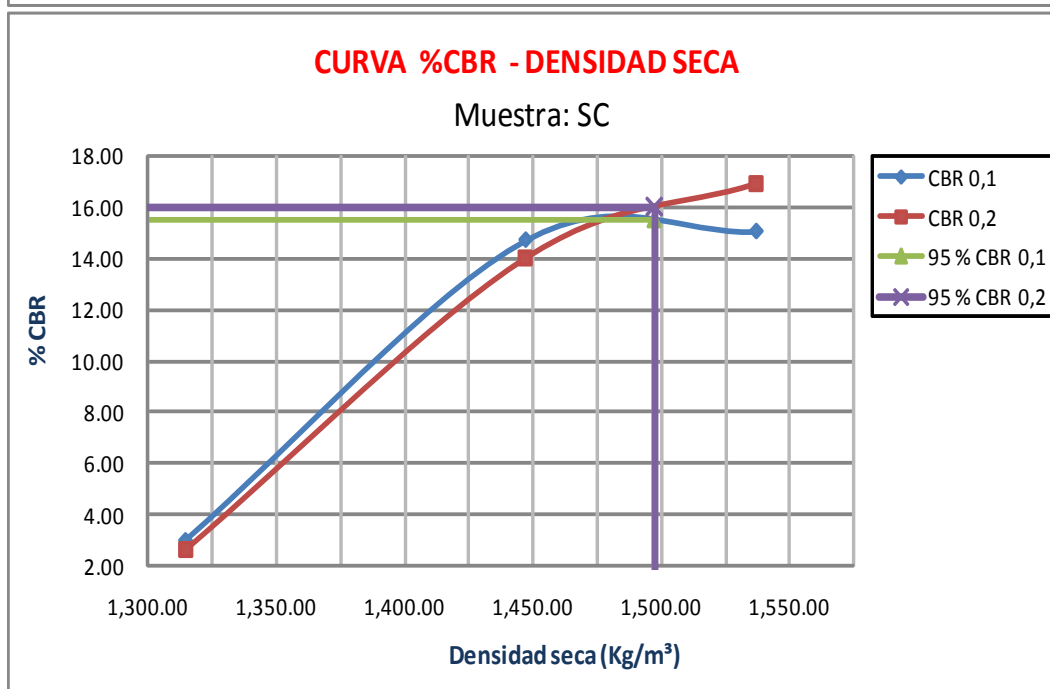
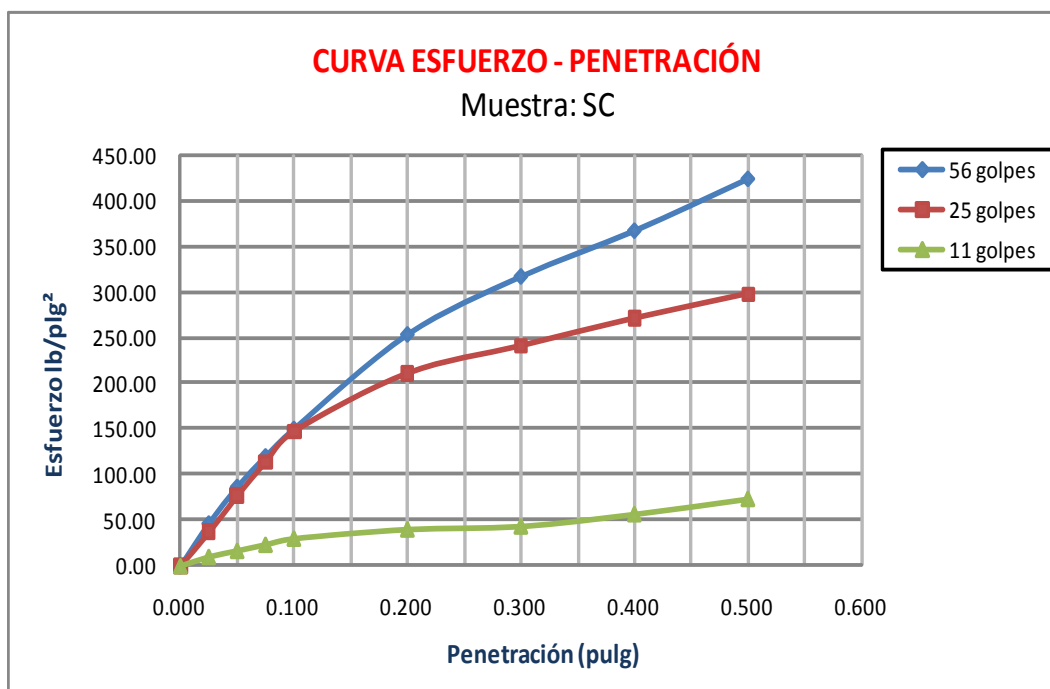
VALORES CBR

presión lb/plg ²	valor CBR 0.1"	presión lb/plg ²	valor CBR 0.2"
150.30	15.03	253.84	16.92
146.96	14.70	210.42	14.03
30.06	3.01	40.08	2.67
CBR (95% gd max.) = 15.50		CBR (95% gd max.) = 16.00	

PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATOLICA DEL ECUADOR

ENSAYO DE CBR EN LABORATORIO

SUELO SC ABS: 1+500
NORMA ASTM D-1883



PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATOLICA DEL ECUADOR

ENSAYO DE CBR EN LABORATORIO

SUELO SC+0.5% CaCl₂ ABS: 1+500
 NORMA ASTM D-1883

DATOS DEL ENSAYO DE COMPACTACIÓN

DENSIDAD MÁXIMA : 1.576 gr/cm ³	HUMEDAD ÓPTIMA: 23.00 %
---	--------------------------------

DATOS DE MOLDEO

Nº DE CAPAS : 5 ALTURA DE CAIDA DEL
 PESO MARTILLO : 10 lb. MARTILLO : 457.2 mm.

MOLDES Nº	Z4	Z6	Z7
Nº DE GOLPES POR CAPA	56	25	11
Peso molde + suelo húmedo (gr.)	10,710	10,424	10,068
Peso molde (gr.)	6,711	6,660	6,666
Peso suelo húmedo (gr.)	3,999	3,764	3,402
Volumen del molde (cm ³)	2,124	2,124	2,124
Densidad húmeda (gr/cm ³)	1,883	1,772	1,602

CONTENIDOS DE HUMEDAD AL MOLDEO

Peso cap. + suelo húmedo (gr.)	44.00	44.44	42.40	40.78	43.89	45.59
Peso cap. + suelo seco (gr.)	39.42	39.66	37.97	36.72	39.19	40.64
Peso cápsula (gr.)	18.47	18.38	18.22	18.44	18.58	18.71
Contenido de Humedad (%)	21.86	22.46	22.43	22.21	22.80	22.57
Humedad promedio (%)	22.16		22.32		22.69	
Densidad húmeda (gr/cm ³)	1,541		1,449		1,306	

CONTENIDOS DE HUMEDAD LUEGO DE LA SATURACIÓN

Peso cap. + suelo húmedo (gr.)	44.38	49.02	48.17	52.70	46.27	49.21
Peso cap. + suelo seco (gr.)	39.18	42.83	41.84	45.32	42.68	41.87
Peso cápsula (gr.)	18.48	17.60	18.72	18.50	18.44	18.68
Contenido de Humedad (%)	25.12	24.53	27.38	27.52	14.81	31.65
Humedad promedio (%)	24.83		27.45		23.23	

PORCENTAJE DE AGUA ABSORBIDA DESPUÉS DE LA SATURACIÓN

Peso molde + suelo húmedo (gr.)	10,867	10,658	10,418
Agua absorbida (gr.)	157	234	350
Agua absorbida (%)	3.93	6.22	10.29

PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATOLICA DEL ECUADOR

ENSAYO DE CBR EN LABORATORIO

SUELO SC+0.5% CaCl₂ **ABS:** 1+500
NORMA ASTM D-1883

<u>ESPONJAMIENTO</u>					
MOLDES N°	Z4		Z6		Z7
Tiempo (dias)	dial	%	dial	%	dial %
0	0	0.00	0	0.00	0 0.00
1	63	1.35	68	1.45	67 1.43
2	71	1.52	78	1.67	74 1.58
3	75	1.60	79	1.69	76 1.62
4	80	1.71	80	1.71	77 1.65

<u>PENETRACIÓN</u>						
Constante anillo = (10,02*Lectura)/3						
MOLDES N°	Z4		Z6		Z7	
penetración (pulgadas)	56 Golpes		25 Golpes		11 Golpes	
	dial	presión lb/plg ²	dial	presión lb/plg ²	dial	presión lb/plg ²
0.000	0	0.00	0	0.00	0	0.00
0.025	9	30.06	6	20.04	4	13.36
0.050	17	56.78	12	40.08	7	23.38
0.075	26	86.84	15	50.10	9	30.06
0.100	32	106.88	19	63.46	11	36.74
0.200	47	156.98	29	96.86	15	50.10
0.300	68	227.12	39	130.26	19	63.46
0.400	70	233.80	49	163.66	22	73.48
0.500	84	280.56	57	190.38	26	86.84

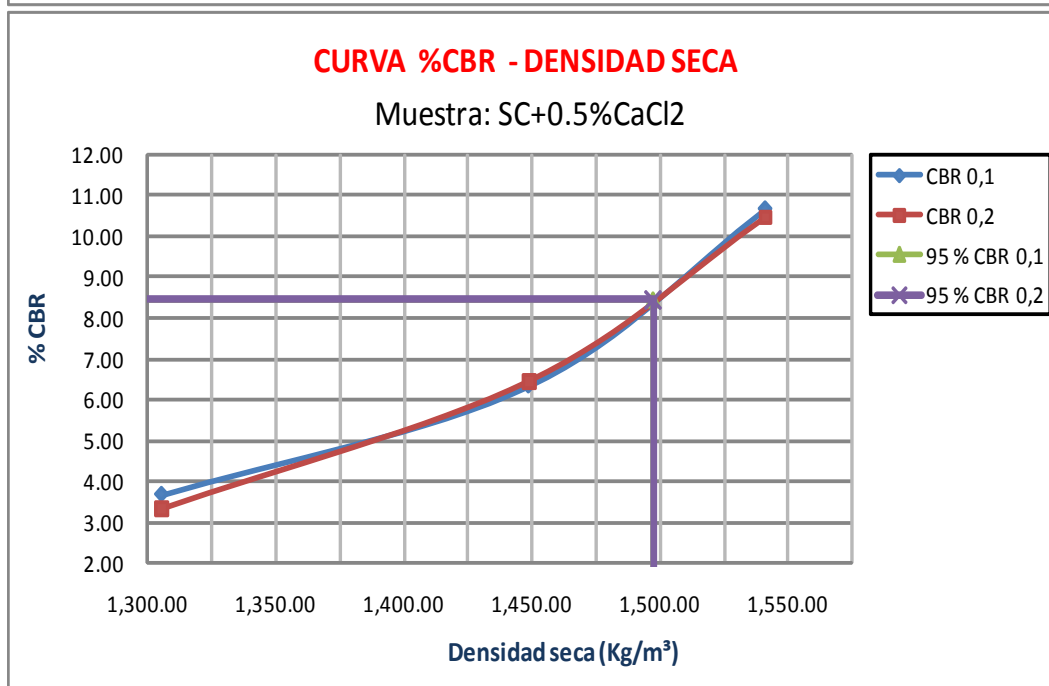
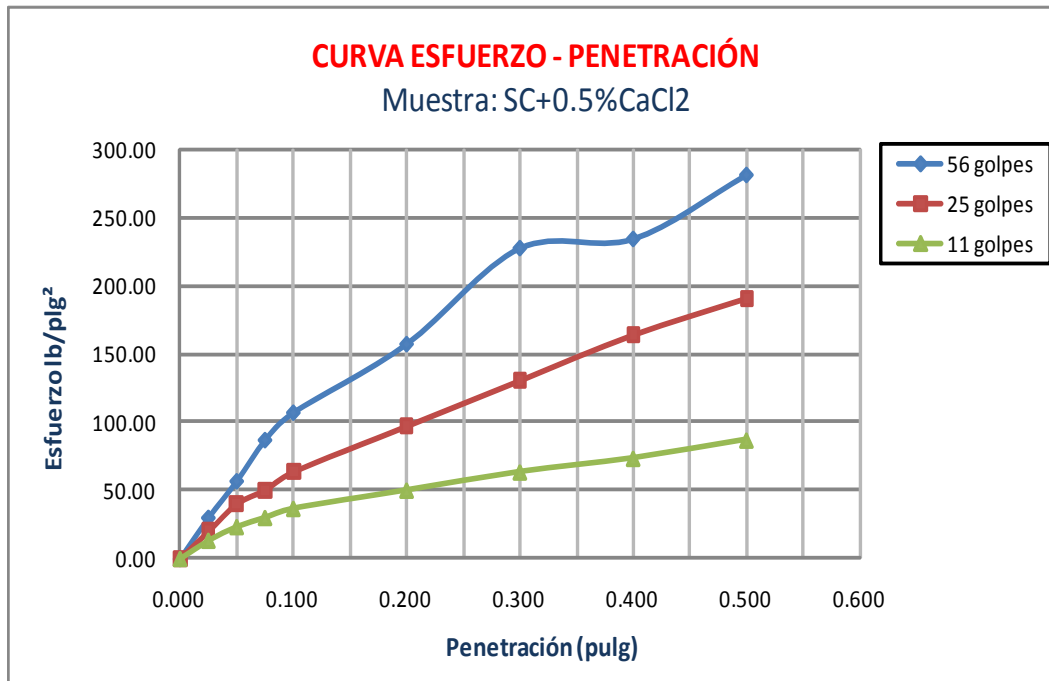
VALORES CBR

presión lb/plg ²	valor CBR 0.1"	presión lb/plg ²	valor CBR 0.2"
106.88	10.69	156.98	10.47
63.46	6.35	96.86	6.46
36.74	3.67	50.10	3.34
CBR (95% gd max.) = 8.45		CBR (95% gd max.) = 8.45	

PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATOLICA DEL ECUADOR

ENSAYO DE CBR EN LABORATORIO

SUELO SC+0.5% CaCl₂ ABS: 1+500
NORMA ASTM D-1883



PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATOLICA DEL ECUADOR

ENSAYO DE CBR EN LABORATORIO

SUELO SC+1% CaCl₂ ABS: 1+500
NORMA ASTM D-1883

DATOS DEL ENSAYO DE COMPACTACIÓN

DENSIDAD MÁXIMA :	1.576	gr/cm ³	HUMEDAD ÓPTIMA:	23.00	%
-------------------	-------	--------------------	-----------------	-------	---

DATOS DE MOLDEO

Nº DE CAPAS : 5 ALTURA DE CAIDA DEL
PESO MARTILLO : 10 lb. MARTILLO : 457.2 mm.

MOLDES Nº	Z5	Z8	Z9
Nº DE GOLPES POR CAPA	56	25	11
Peso molde + suelo húmedo (gr.)	10,761	10,364	10,014
Peso molde (gr.)	6,681	6,655	6,653
Peso suelo húmedo (gr.)	4,080	3,709	3,361
Volumen del molde (cm ³)	2,124	2,124	2,124
Densidad húmeda (gr/cm ³)	1,921	1,746	1,582

CONTENIDOS DE HUMEDAD AL MOLDEO

Peso cap. + suelo húmedo (gr.)	37.07	45.04	44.47	52.47	55.03	45.52
Peso cap. + suelo seco (gr.)	33.70	40.23	39.81	46.35	48.32	40.65
Peso cápsula (gr.)	17.89	18.49	18.40	18.49	18.11	18.32
Contenido de Humedad (%)	21.32	22.13	21.77	21.97	22.21	21.81
Humedad promedio (%)	21.72		21.87		22.01	
Densidad húmeda (gr/cm ³)	1,578		1,433		1,297	

CONTENIDOS DE HUMEDAD LUEGO DE LA SATURACIÓN

Peso cap. + suelo húmedo (gr.)	44.09	46.77	51.00	49.28	44.32	52.60
Peso cap. + suelo seco (gr.)	37.96	41.20	44.17	42.65	38.21	44.79
Peso cápsula (gr.)	18.43	16.87	18.51	18.38	17.87	18.13
Contenido de Humedad (%)	31.39	22.89	26.62	27.32	30.04	29.29
Humedad promedio (%)	27.14		26.97		29.67	

PORCENTAJE DE AGUA ABSORBIDA DESPUÉS DE LA SATURACIÓN

Peso molde + suelo húmedo (gr.)	10,896	10,592	10,376
Agua absorbida (gr.)	135	228	362
Agua absorbida (%)	3.31	6.15	10.77

PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATOLICA DEL ECUADOR

ENSAYO DE CBR EN LABORATORIO

SUELO SC+1% CaCl₂ **ABS:** 1+500
NORMA ASTM D-1883

ESPONJAMIENTO						
MOLDES N°	Z5		Z8		Z9	
Tiempo (días)	dial	%	dial	%	dial	%
0	0	0.00	0	0.00	0	0.00
1	37	0.79	44	0.94	55	1.18
2	50	1.07	55	1.18	66	1.41
3	52	1.11	55	1.18	67	1.43
4	57	1.22	56	1.20	68	1.45

PENETRACIÓN						
Constante anillo = (10,2*Lectura + 60,323)/3						
MOLDES N°	Z5		Z8		Z9	
penetración (pulgadas)	56 Golpes		25 Golpes		11 Golpes	
	dial	presión lb/plg²	dial	presión lb/plg²	dial	presión lb/plg²
0.000	0	0.00	0	0.00	0	0.00
0.025	9	50.71	5	37.11	3	30.31
0.050	23	98.31	9	50.71	4	33.71
0.075	38	149.31	13	64.31	5	37.11
0.100	49	186.71	20	88.11	8	47.31
0.200	70	258.11	32	128.91	10	54.11
0.300	84	305.71	39	152.71	14	67.71
0.400	93	336.31	41	159.51	15	71.11
0.500	112	400.91	48	183.31	17	77.91

VALORES CBR

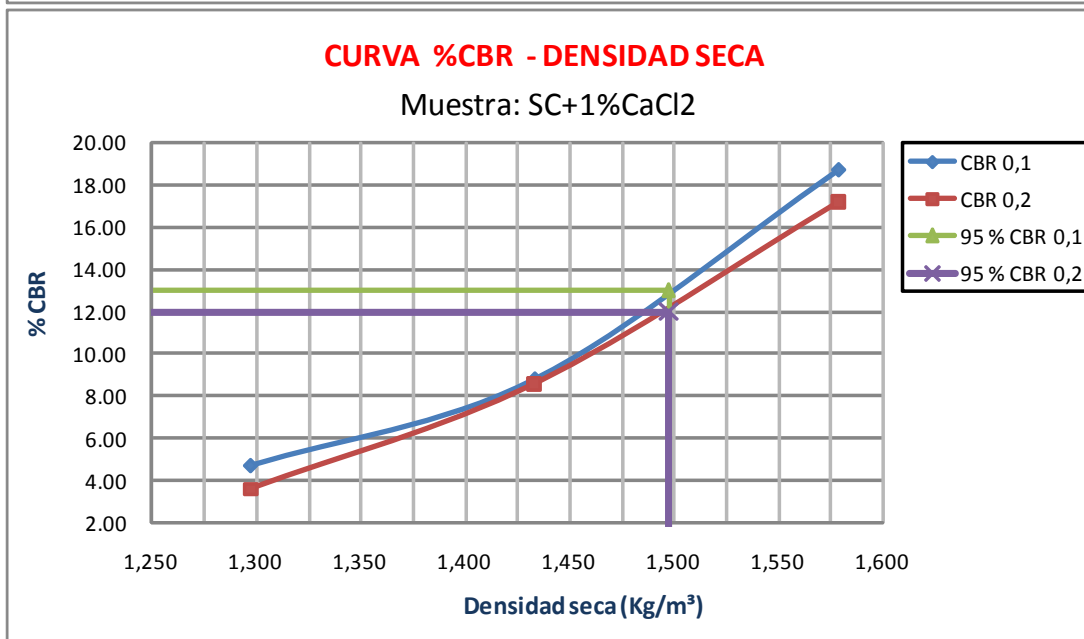
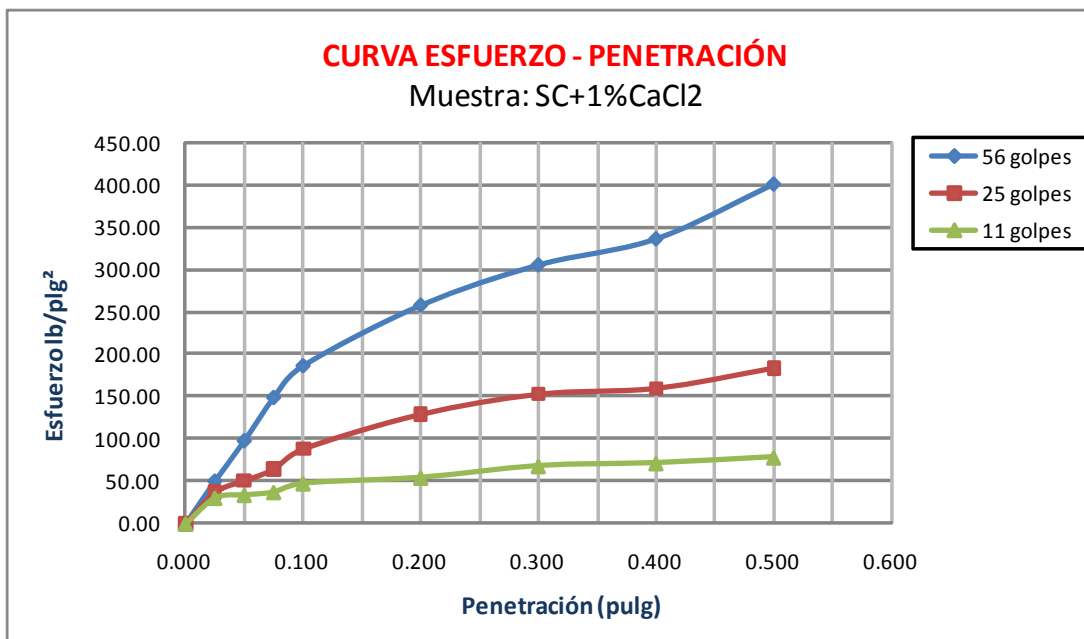
presión lb/plg²	valor CBR 0.1"	presión lb/plg²	valor CBR 0.2"
186.71	18.67	258.11	17.21
88.11	8.81	128.91	8.59
47.31	4.73	54.11	3.61
CBR (95% gd max.) = 13.00		CBR (95% gd max.) = 12.00	

PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATOLICA DEL ECUADOR

ENSAYO DE CBR EN LABORATORIO

SUELO SC+1% CaCl₂
NORMA ASTM D-1883

ABS: 1+500



PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATOLICA DEL ECUADOR

ENSAYO DE CBR EN LABORATORIO

SUELO SC+1.5% CaCl₂ ABS: 1+500
 NORMA ASTM D-1883

DATOS DEL ENSAYO DE COMPACTACIÓN

DENSIDAD MÁXIMA :	1.576	gr/cm ³	HUMEDAD ÓPTIMA:	23.00	%
--------------------------	-------	--------------------	------------------------	-------	---

DATOS DE MOLDEO

Nº DE CAPAS : 5 ALTURA DE CAIDA DEL
 PESO MARTILLO : 10 lb. MARTILLO : 457.2 mm.

MOLDES Nº	D3	C1	D2
Nº DE GOLPES POR CAPA	56	25	11
Peso molde + suelo húmedo (gr.)	11,235	10,974	10,607
Peso molde (gr.)	7,148	7,184	7,182
Peso suelo húmedo (gr.)	4,087	3,790	3,425
Volumen del molde (cm ³)	2,124	2,124	2,124
Densidad húmeda (gr/cm ³)	1,924	1,784	1,613

CONTENIDOS DE HUMEDAD AL MOLDEO

Peso cap. + suelo húmedo (gr.)	42.93	46.00	54.74	47.36	45.25	48.60
Peso cap. + suelo seco (gr.)	38.92	41.56	48.24	42.14	40.29	43.28
Peso cápsula (gr.)	19.94	20.87	18.94	18.20	17.60	18.73
Contenido de Humedad (%)	21.13	21.46	22.18	21.80	21.86	21.67
Humedad promedio (%)	21.29		21.99		21.76	
Densidad húmeda (gr/cm ³)	1,586		1,463		1,324	

CONTENIDOS DE HUMEDAD LUEGO DE LA SATURACIÓN

Peso cap. + suelo húmedo (gr.)	55.47	53.91	41.33	46.02	40.43	41.57
Peso cap. + suelo seco (gr.)	48.78	47.38	35.74	39.30	35.51	35.60
Peso cápsula (gr.)	18.00	17.92	18.96	18.72	18.97	18.74
Contenido de Humedad (%)	21.73	22.17	33.31	32.65	29.75	35.41
Humedad promedio (%)	21.95		32.98		32.58	

PORCENTAJE DE AGUA ABSORBIDA DESPUÉS DE LA SATURACIÓN

Peso molde + suelo húmedo (gr.)	11,359	11,224	10,948
Agua absorbida (gr.)	124	250	341
Agua absorbida (%)	3.03	6.60	9.96

PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATOLICA DEL ECUADOR

ENSAYO DE CBR EN LABORATORIO

SUELO SC+1.5% CaCl₂ **ABS:** 1+500
NORMA ASTM D-1883

ESPONJAMIENTO						
MOLDES N°	D3		C1		D2	
Tiempo (días)	dial	%	dial	%	dial	%
0	0	0.00	0	0.00	0	0.00
1	39	0.83	53	1.13	58	1.24
2	59	1.26	62	1.32	69	1.47
3	60	1.28	66	1.41	70	1.50
4	63	1.35	68	1.45	71	1.52

PENETRACIÓN						
Constante anillo = (10,2*Lectura + 60,323)/3						
MOLDES N°	D3		C1		D2	
penetración (pulgadas)	56 Golpes		25 Golpes		11 Golpes	
	dial	presión lb/plg²	dial	presión lb/plg²	dial	presión lb/plg²
0.000	0	0.00	0	0.00	0	0.00
0.025	13	64.31	8	47.31	4	33.71
0.050	28	115.31	16	74.51	6	40.51
0.075	42	162.91	23	98.31	7	43.91
0.100	54	203.71	29	118.71	9	50.71
0.200	77	281.91	40	156.11	12	60.91
0.300	94	339.71	50	190.11	16	74.51
0.400	110	394.11	57	213.91	19	84.71
0.500	127	451.91	63	234.31	22	94.91

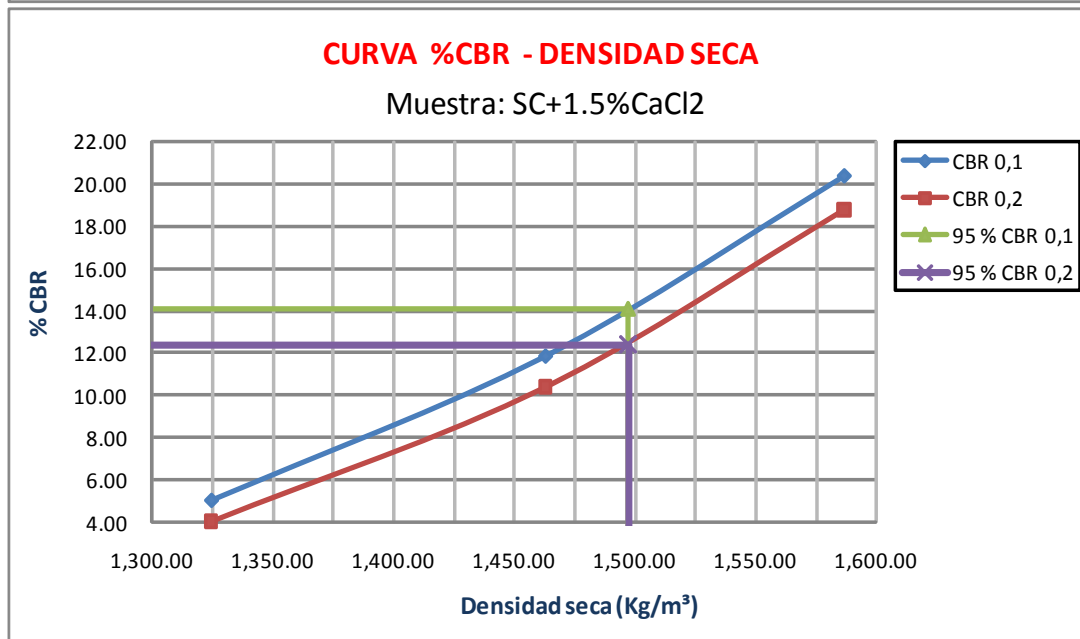
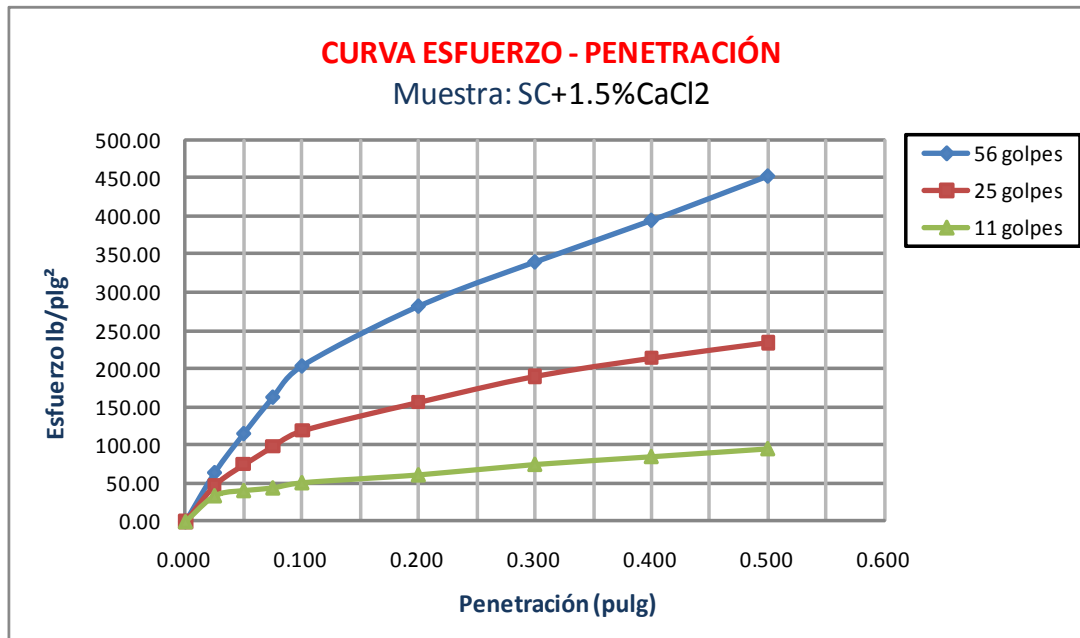
VALORES CBR

presión lb/plg²	valor CBR 0.1"	presión lb/plg²	valor CBR 0.2"
203.71	20.37	281.91	18.79
118.71	11.87	156.11	10.41
50.71	5.07	60.91	4.06
CBR (95% gd max.) = 14.10		CBR (95% gd max.) = 12.40	

PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATOLICA DEL ECUADOR

ENSAYO DE CBR EN LABORATORIO

SUELO SC+1.5% CaCl₂ ABS: 1+500
NORMA ASTM D-1883



PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATOLICA DEL ECUADOR

ENSAYO DE CBR EN LABORATORIO

SUELO SC+2% CaCl₂ ABS: 1+500
 NORMA ASTM D-1883

DATOS DEL ENSAYO DE COMPACTACIÓN

DENSIDAD MÁXIMA : 1.576 gr/cm ³	HUMEDAD ÓPTIMA: 23.00 %
---	--------------------------------

DATOS DE MOLDEO

Nº DE CAPAS : 5 ALTURA DE CAIDA DEL
 PESO MARTILLO : 10 lb. MARTILLO : 457.2 mm.

MOLDES Nº	D1/E3	B3	E1
Nº DE GOLPES POR CAPA	56	25	11
Peso molde + suelo húmedo (gr.)	11,091	10,533	10,145
Peso molde (gr.)	7,034	6,795	6,751
Peso suelo húmedo (gr.)	4,057	3,738	3,394
Volumen del molde (cm ³)	2,124	2,124	2,124
Densidad húmeda (gr/cm ³)	1,910	1,760	1,598

CONTENIDOS DE HUMEDAD AL MOLDEO

Peso cap. + suelo húmedo (gr.)	44.93	41.61	50.99	52.16	57.69	49.23
Peso cap. + suelo seco (gr.)	40.14	37.53	45.37	46.24	50.72	43.92
Peso cápsula (gr.)	17.68	18.31	18.71	18.35	18.67	19.03
Contenido de Humedad (%)	21.33	21.23	21.08	21.23	21.75	21.33
Humedad promedio (%)	21.28		21.15		21.54	
Densidad húmeda (gr/cm ³)	1,575		1,453		1,315	

CONTENIDOS DE HUMEDAD LUEGO DE LA SATURACIÓN

Peso cap. + suelo húmedo (gr.)	61.35	56.66	44.56	53.59	39.17	42.40
Peso cap. + suelo seco (gr.)	52.57	49.54	39.46	46.27	34.22	36.33
Peso cápsula (gr.)	18.22	18.24	18.43	18.48	18.14	17.69
Contenido de Humedad (%)	25.56	22.75	24.25	26.34	30.78	32.56
Humedad promedio (%)	24.15		25.30		31.67	

PORCENTAJE DE AGUA ABSORBIDA DESPUÉS DE LA SATURACIÓN

Peso molde + suelo húmedo (gr.)	11,231	10,749	10,501
Agua absorbida (gr.)	140	216	356
Agua absorbida (%)	3.45	5.78	10.49

PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATOLICA DEL ECUADOR

ENSAYO DE CBR EN LABORATORIO

SUELO SC+2% CaCl₂

NORMA ASTM D-1883

ESPONJAMIENTO

MOLDES N°	D1/E3		B3		E1	
Tiempo (días)	dial	%	dial	%	dial	%
0	0	0.00	0	0.00	0	0.00
1	12	0.26	36	0.77	44	0.94
2	26	0.56	55	1.18	53	1.13
3	29	0.62	56	1.20	55	1.18
4	32	0.68	57	1.22	58	1.24

PENETRACIÓN

Constante anillo = (10,02*Lectura)/3

MOLDES N°	D1/E3		B3		E1	
penetración (pulgadas)	56 Golpes		25 Golpes		11 Golpes	
	dial	presión lb/plg ²	dial	presión lb/plg ²	dial	presión lb/plg ²
0.000	0	0.00	0	0.00	0	0.00
0.025	10	33.40	8	26.72	2	6.68
0.050	21	70.14	15	50.10	3	10.02
0.075	32	106.88	19	63.46	1	3.34
0.100	40	133.60	23	76.82	5	16.70
0.200	53	177.02	36	120.24	8	26.72
0.300	67	223.78	46	153.64	10	33.40
0.400	82	273.88	54	180.36	13	43.42
0.500	102	340.68	63	210.42	15	50.10

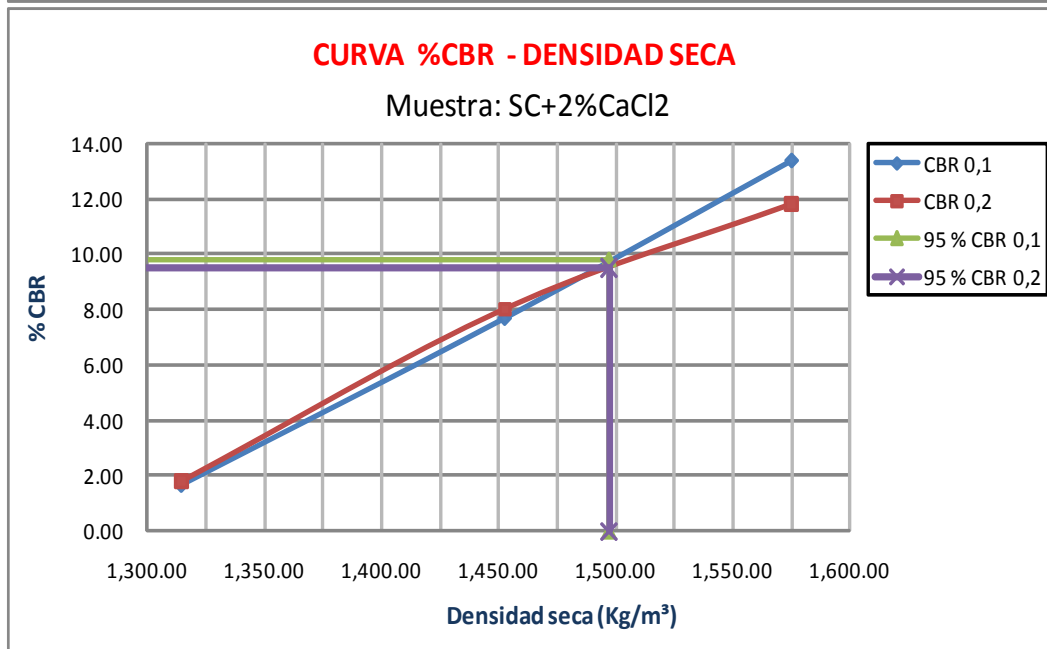
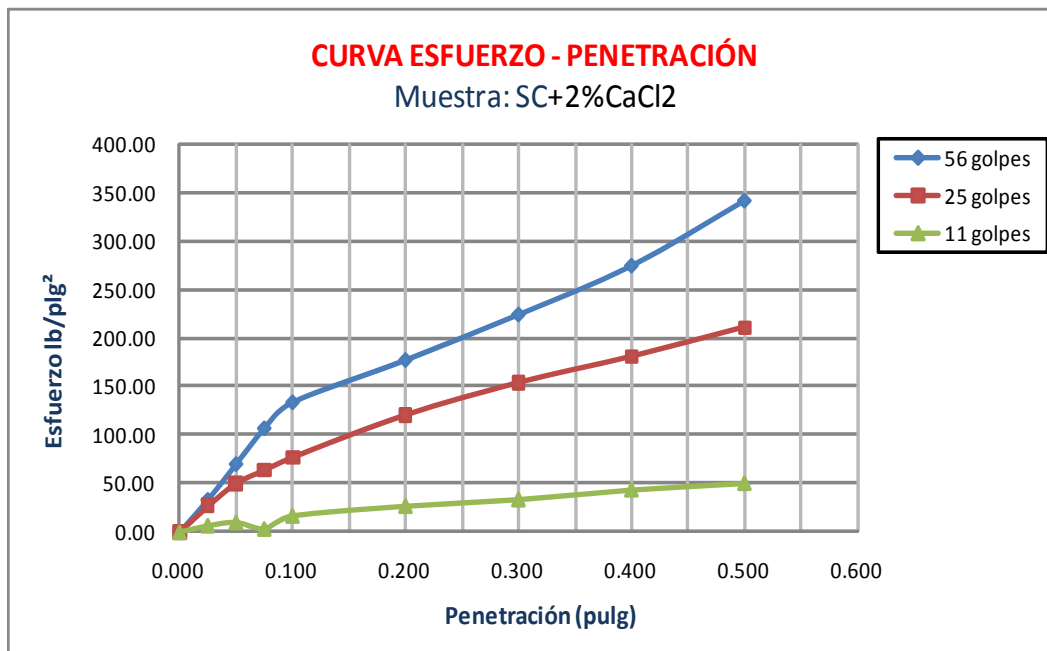
VALORES CBR

presión lb/plg ²	valor CBR 0.1"	presión lb/plg ²	valor CBR 0.2"
133.60	13.36	177.02	11.80
76.82	7.68	120.24	8.02
16.70	1.67	26.72	1.78
CBR (95% gd max.) = 9.80		CBR (95% gd max.) = 9.50	

PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATOLICA DEL ECUADOR

ENSAYO DE CBR EN LABORATORIO

SUELO SC+2% CaCl₂ ABS: 1+500
 NORMA ASTM D-1883



3.6 Módulo Resiliente

Cyclic Triaxial Test

Sample number = Muestra 1

Material Type = CH ABS: 2+500

Specimen diameter (mm) = 100.5

Specimen height (mm) = 205

Confining stress	Target max.ax. stress	Cycle No.	Actual maximum load	Actual cyclic load	Actual contact load	Actual max.ax. stress	Actual cyclic stress	Actual contact stress	Recov.Def. LVDT 1	Recov.Def. LVDT 2	Average Recov.Def.	Resilient strain	Resilient modulus	
kPa	kPa		kN	kN	kN	kPa	kPa	kPa	mm	mm	mm	mm/mm	MPa	
Sequence No. = 1 Last 5 pulses of 100														
41.7	13.8	1	0.108	0.098	0.01	13.6	12.4	1.2	0.017544	0.014326	0.015935	0.000078	158.997	
41.6	13.8	2	0.215	0.206	0.008	27	26	1.1	0.018713	0.016992	0.017852	0.000087	298.514	
40.7	13.8	3	0.108	0.099	0.009	13.6	12.5	1.1	0.018045	0.017325	0.017685	0.000086	145.337	
41.5	13.8	4	0.108	0.095	0.013	13.6	12	1.7	0.019048	0.016159	0.017603	0.000086	139.117	
41.6	13.8	5	0.151	0.14	0.012	19.1	17.6	1.5	0.017878	0.016992	0.017435	0.000085	207.125	
41.42	13.8	Permanent strain (%) =						0.1					0.0000844	147.817
Sequence No. = 2 Last 5 pulses of 100														
41.9	27.6	1	0.028	0.002	0.025	3.5	0.3	3.2	0.002506	0.002166	0.002336	0.000011	139.117	
41.6	27.6	2	0.026	0.007	0.019	3.3	0.9	2.4	0.000835	0.000666	0.000751	0.000004	145.234	
41.5	27.6	3	0.026	0.007	0.019	3.3	0.9	2.4	0.000668	0.000333	0.000501	0.000002	139.897	
40.4	27.6	4	0.04	0.017	0.023	5.1	2.1	2.9	0.001337	0.001166	0.001251	0.000006	142.765	
41.7	27.6	5	0.028	0.005	0.023	3.5	0.6	2.9	0.001838	0.001499	0.001669	0.000008	141.398	
41.42	27.6	Permanent strain (%) =						0.1					0.0000062	141.6822
Sequence No. = 3 Last 5 pulses of 100														
41.6	41.4	1	0.326	0.297	0.029	41	37.4	3.6	0.063826	0.047809	0.055818	0.000272	137.678	
41.6	41.4	2	0.327	0.295	0.032	41.2	37.2	4	0.063325	0.048143	0.055734	0.000272	136.784	
41.4	41.4	3	0.327	0.293	0.034	41.2	37	4.3	0.063158	0.047809	0.055484	0.000271	136.391	
40.5	41.4	4	0.329	0.294	0.034	41.4	37.1	4.3	0.063325	0.048976	0.05615	0.000274	135.431	
42.1	41.4	5	0.33	0.297	0.034	41.6	37.4	4.2	0.065831	0.049475	0.057653	0.000281	133.095	
41.44	41.4	Permanent strain (%) =						0.1					0.000274	135.8758
Sequence No. = 4 Last 5 pulses of 100														
41.8	55.2	1	0.437	0.393	0.044	55.1	49.6	5.5	0.086717	0.066467	0.076592	0.000374	132.509	
41.6	55.2	2	0.441	0.398	0.044	55.6	50.1	5.5	0.084378	0.065301	0.074839	0.000365	137.375	
41.6	55.2	3	0.441	0.395	0.046	55.6	49.9	5.8	0.085213	0.064968	0.07509	0.000366	136.203	
40.5	55.2	4	0.44	0.394	0.046	55.4	49.6	5.8	0.083709	0.064801	0.074255	0.000362	137.036	
41.8	55.2	5	0.437	0.392	0.045	55.1	49.4	5.7	0.087051	0.0673	0.077175	0.000376	131.287	
41.46	55.2	Permanent strain (%) =						0.1					0.0003686	134.882
Sequence No. = 5 Last 5 pulses of 100														
40.4	68.9	1	0.548	0.489	0.059	69.1	61.7	7.4	0.103091	0.081459	0.092275	0.00045	137.041	
42	68.9	2	0.543	0.486	0.057	68.5	61.3	7.2	0.103091	0.081792	0.092442	0.000451	135.874	
41.8	68.9	3	0.543	0.491	0.052	68.5	61.9	6.6	0.104261	0.081626	0.092943	0.000453	136.67	
41.4	68.9	4	0.551	0.498	0.052	69.4	62.8	6.6	0.103258	0.082292	0.092775	0.000453	138.71	
40.6	68.9	5	0.545	0.489	0.056	68.7	61.6	7.1	0.103091	0.08096	0.092025	0.000449	137.238	
41.24	68.9	Permanent strain (%) =						0.1					0.0004512	137.1066
Sequence No. = 6 Last 5 pulses of 100														
27.8	13.8	1	0.111	0.101	0.01	14	12.7	1.3	0.023893	0.020823	0.022358	0.000109	116.901	
26.5	13.8	2	0.108	0.096	0.012	13.6	12.1	1.5	0.022891	0.019657	0.021274	0.000104	116.442	
28.1	13.8	3	0.11	0.097	0.013	13.8	12.2	1.6	0.026065	0.021656	0.023861	0.000116	105.235	
27.9	13.8	4	0.11	0.099	0.01	13.8	12.5	1.3	0.022556	0.019823	0.02119	0.000103	121.35	
27.8	13.8	5	0.11	0.1	0.01	13.8	12.6	1.2	0.025564	0.01949	0.022527	0.00011	114.512	
27.62	13.8	Permanent strain (%) =						0.1					0.0001084	114.888
Sequence No. = 7 Last 5 pulses of 100														
27.6	27.6	1	0.219	0.198	0.022	27.6	24.9	2.7	0.055472	0.040147	0.047809	0.000233	106.87	
28	27.6	2	0.218	0.196	0.022	27.4	24.7	2.7	0.052966	0.038647	0.045807	0.000223	110.79	
28	27.6	3	0.219	0.196	0.023	27.6	24.7	2.9	0.052799	0.039147	0.045973	0.000224	110.296	
27.9	27.6	4	0.218	0.194	0.023	27.4	24.5	2.9	0.053801	0.038647	0.046224	0.000225	108.941	
26.4	27.6	5	0.221	0.198	0.023	27.8	24.9	2.9	0.054135	0.039813	0.046974	0.000229	108.949	
27.58	27.6	Permanent strain (%) =						0.1					0.0002268	109.1692

stress kPa	max.ax. stress kPa	No.	maximum load kN	cyclic load kN	contact load kN	max.ax. stress kPa	cyclic stress kPa	contact stress kPa	LVDT 1 mm	LVDT 2 mm	Recov.Def. mm	strain mm/mm	modulus MPa
Sequence No. = 8 Last 5 pulses of 100													
27.3	41.4	1	0.327	0.294	0.034	41.2	37	4.2	0.076358	0.056972	0.066665	0.000325	113.879
27	41.4	2	0.329	0.296	0.033	41.4	37.3	4.2	0.077694	0.058304	0.067999	0.000332	112.211
28.3	41.4	3	0.327	0.296	0.032	41.2	37.3	4	0.079031	0.058471	0.068751	0.000335	111.206
28	41.4	4	0.327	0.295	0.032	41.2	37.2	4	0.07452	0.056638	0.065579	0.00032	116.266
28	41.4	5	0.332	0.299	0.032	41.8	37.7	4.1	0.076859	0.058471	0.067665	0.00033	114.364
27.72	41.4											0.0003284	113.5852
Sequence No. = 9 Last 5 pulses of 100													
27.8	55.2	1	0.437	0.394	0.042	55.1	49.7	5.3	0.094904	0.07363	0.084267	0.000411	120.935
27.8	55.2	2	0.443	0.397	0.046	55.8	50.1	5.7	0.095071	0.072964	0.084017	0.00041	122.179
26.8	55.2	3	0.438	0.394	0.045	55.2	49.6	5.6	0.093734	0.072964	0.083349	0.000407	121.885
28	55.2	4	0.432	0.386	0.046	54.5	48.7	5.8	0.095572	0.074463	0.085018	0.000415	117.308
27.8	55.2	5	0.438	0.394	0.044	55.2	49.7	5.6	0.095739	0.073463	0.084601	0.000413	120.232
27.64	55.2											0.0004112	120.5078
Sequence No. = 10 Last 5 pulses of 100													
26.7	68.9	1	0.549	0.495	0.055	69.3	62.3	6.9	0.111779	0.088123	0.099951	0.000488	127.765
27.7	68.9	2	0.543	0.489	0.054	68.5	61.7	6.8	0.112281	0.088456	0.100368	0.00049	125.854
27.7	68.9	3	0.549	0.494	0.056	69.3	62.3	7	0.111445	0.087456	0.099451	0.000485	128.355
27.7	68.9	4	0.545	0.491	0.054	68.7	61.9	6.8	0.111445	0.089122	0.100284	0.000489	126.608
27.7	68.9	5	0.548	0.492	0.056	69.1	62.1	7	0.110443	0.087956	0.099199	0.000484	128.218
27.5	68.9											0.0004872	127.36
Sequence No. = 11 Last 5 pulses of 100													
12.1	13.8	1	0.113	0.101	0.011	14.2	12.8	1.4	0.029908	0.023655	0.026781	0.000131	97.64
14.6	13.8	2	0.111	0.097	0.014	14	12.2	1.8	0.033083	0.02632	0.029701	0.000145	84.188
14.1	13.8	3	0.111	0.1	0.011	14	12.6	1.4	0.028906	0.024488	0.026697	0.00013	97.269
14.1	13.8	4	0.11	0.096	0.013	13.8	12.2	1.7	0.029908	0.022989	0.026448	0.000129	94.253
12.9	13.8	5	0.11	0.099	0.011	13.8	12.5	1.4	0.031579	0.024155	0.027867	0.000136	91.547
13.56	13.8											0.0001342	92.9794
Sequence No. = 12 Last 5 pulses of 100													
13.8	27.6	1	0.221	0.195	0.026	27.8	24.6	3.3	0.064829	0.047976	0.056402	0.000275	89.31
13.8	27.6	2	0.222	0.194	0.028	28	24.5	3.5	0.063659	0.047476	0.055568	0.000271	90.449
13.7	27.6	3	0.224	0.198	0.026	28.2	24.9	3.3	0.064829	0.047476	0.056153	0.000274	91.056
13.3	27.6	4	0.224	0.195	0.029	28.2	24.6	3.6	0.063993	0.047809	0.055901	0.000273	90.143
14.6	27.6	5	0.222	0.196	0.026	28	24.7	3.3	0.066834	0.049142	0.057988	0.000283	87.301
13.84	27.6											0.0002752	89.6518
Sequence No. = 13 Last 5 pulses of 100													
13.2	41.4	1	0.333	0.294	0.039	42	37.1	5	0.088722	0.068133	0.078427	0.000383	96.761
13.2	41.4	2	0.333	0.293	0.04	42	37	5.1	0.090727	0.067133	0.07893	0.000385	96.005
14.8	41.4	3	0.332	0.294	0.038	41.8	37.1	4.8	0.090894	0.070465	0.080679	0.000394	94.059
14.4	41.4	4	0.34	0.302	0.037	42.8	38.1	4.7	0.08939	0.065634	0.077512	0.000378	100.743
14.3	41.4	5	0.333	0.296	0.037	42	37.3	4.7	0.088555	0.0663	0.077427	0.000378	98.684
13.98	41.4											0.0003836	97.2504
Sequence No. = 14 Last 5 pulses of 100													
12.8	55.2	1	0.437	0.394	0.042	55.1	49.7	5.3	0.108104	0.082959	0.095531	0.000466	106.662
14.7	55.2	2	0.435	0.391	0.044	54.9	49.3	5.5	0.110944	0.085957	0.098451	0.00048	102.74
14.3	55.2	3	0.443	0.399	0.044	55.8	50.3	5.5	0.1066	0.082292	0.094446	0.000461	109.084
14.2	55.2	4	0.438	0.394	0.044	55.2	49.7	5.5	0.109273	0.084624	0.096949	0.000473	105.083
12.6	55.2	5	0.438	0.394	0.044	55.2	49.7	5.5	0.108605	0.084291	0.096448	0.000471	105.529
13.72	55.2											0.0004702	105.8196
Sequence No. = 15 Last 5 pulses of 100													
14.2	68.9	1	0.546	0.493	0.053	68.9	62.2	6.7	0.124311	0.09945	0.111881	0.000546	113.925
12.9	68.9	2	0.545	0.49	0.054	68.7	61.8	6.9	0.124979	0.097784	0.111382	0.000543	113.838
13.2	68.9	3	0.543	0.486	0.057	68.5	61.3	7.1	0.126817	0.101782	0.1143	0.000558	109.907
14.5	68.9	4	0.545	0.492	0.053	68.7	62	6.7	0.127151	0.100783	0.113967	0.000556	111.527
14.3	68.9	5	0.549	0.496	0.053	69.3	62.5	6.7	0.124812	0.099117	0.111965	0.000546	114.549
13.82	68.9											0.0005498	112.7492

PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATOLICA DEL ECUADOR

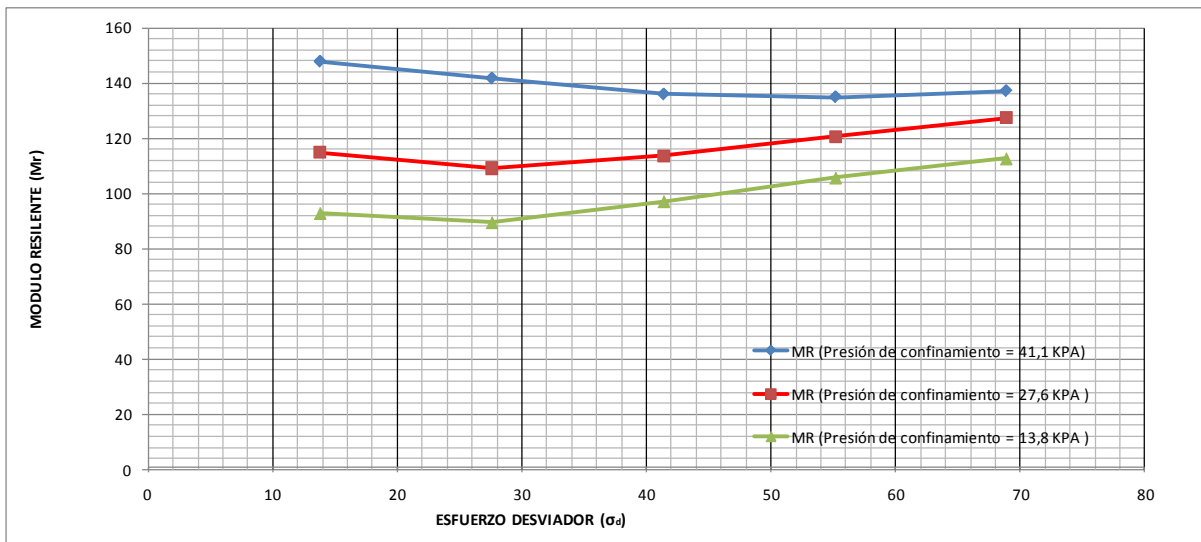
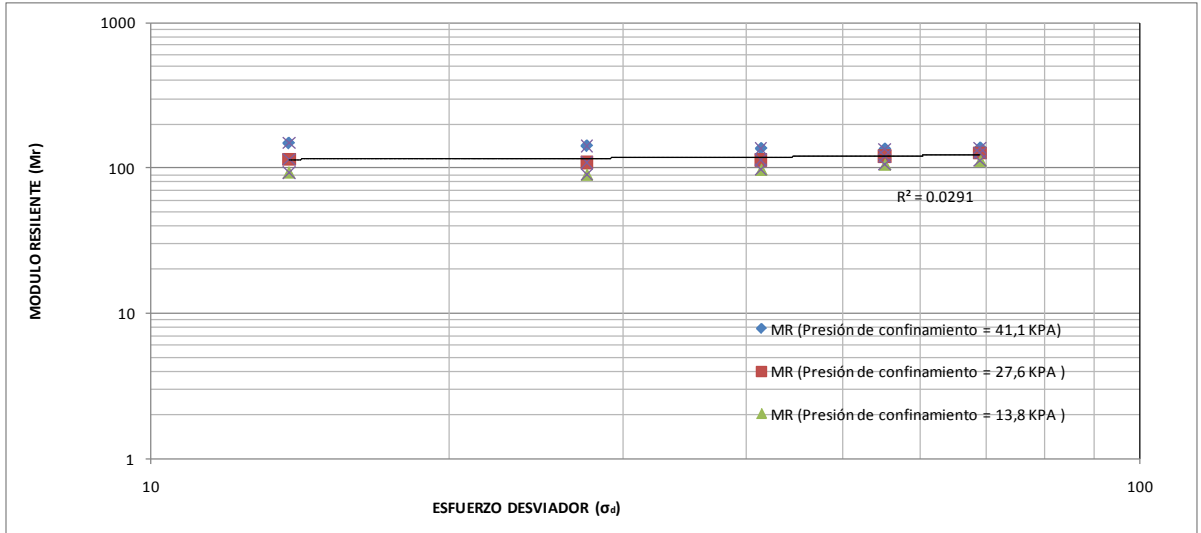
ENSAYO DE MODULO DE RESILIENCIA

SUELO CH **ABS:** 2+500
NORMA AASHTO T 307-99 (2007)

DATOS INICIALES

D SUPERIOR : 101.75 mm.	A SUPERIOR : 81.31 cm ² .	P MUESTRA : 2966.8 gr.
D MEDIO : 100.67 mm.	A MEDIO : 79.60 cm ² .	V MUESTRA : 1629.56 cm ³
D INFERIOR : 99.19 mm.	A INFERIOR : 77.27 cm ² .	γ HUMEDA : 1.821 gr/cm ³
H INICIAL : 204.99 mm.	A MEDIA : 79.49 cm ² .	γ SECA : 1.416 gr/cm ³

SECUENCIA N°	RESILIENT STRAIN Rr mm / mm	CYCLIC STRESS σd KPa	CELL PRESURE σ3 KPa	NÚMERO DE APLIC. DE CARGA	MÓDULO RESILIENTE Mr MPa	CONTENIDO DE HUMEDAD		
1	0.0000844	13.8	41.42	100	147.8			
2	0.0000062	27.6	41.42	100	141.7			
3	0.0002740	41.4	41.44	100	135.9			
4	0.0003686	55.2	41.46	100	134.9	Pcap. + sh.	31.91	gr
5	0.0004512	68.9	41.24	100	137.1	Pcap. + ss.	28.98	gr
6	0.000108	13.8	27.62	100	114.9	Pcap.	18.74	gr
7	0.000227	27.6	27.58	100	109.2	% Humedad	28.61	%
8	0.000328	41.4	27.72	100	113.6			
9	0.000411	55.2	27.64	100	120.5			
10	0.000487	68.9	27.5	100	127.4			
11	0.000134	13.8	13.56	100	93.0			
12	0.000275	27.6	13.84	100	89.7			
13	0.000384	41.4	13.98	100	97.3			
14	0.000470	55.2	13.72	100	105.8			
15	0.000550	68.9	13.82	100	112.7			



Cyclic Triaxial Test

Sample number = Muestra 2

Material Type = CH + CaCl2

ABS: 2+500

Specimen diameter (mm) = 101.2

Specimen height (mm) = 204

Confining stress	Target max.ax. stress	Cycle No.	Actual maximum load	Actual cyclic load	Actual contact load	Actual max.ax. stress	Actual cyclic stress	Actual contact stress	Recov.Def. LVDT 1	Recov.Def. LVDT 2	Average Recov.Def.	Resilient strain	Resilient modulus
kPa	kPa		kN	kN	kN	kPa	kPa	kPa	mm	mm	mm	mm/mm	MPa

Sequence No. = 1 Last 5 pulses of 100

41.9	13.8	1	0.316	0.101	0.216	39.3	12.5	26.8	0.015539	0.015992	0.015765	0.000077	162.579
41.3	13.8	2	0.315	0.101	0.214	39.1	12.6	26.6	0.015205	0.014659	0.014932	0.000073	172.144
41.1	13.8	3	0.315	0.101	0.214	39.1	12.5	26.6	0.01604	0.015492	0.015766	0.000077	162.579
41.1	13.8	4	0.313	0.098	0.215	38.9	12.2	26.8	0.016374	0.015659	0.016017	0.000079	154.213
42.1	13.8	5	0.313	0.1	0.214	38.9	12.4	26.6	0.015706	0.014326	0.015016	0.000074	167.225
41.5	13.8		Permanent strain (%) =					0.1				0.000076	163.748

Sequence No. = 2 Last 5 pulses of 100

41.3	27.6	1	0.406	0.2	0.206	50.5	24.8	25.6	0.030409	0.029319	0.029864	0.000146	170.173
41.3	27.6	2	0.406	0.197	0.209	50.5	24.5	25.9	0.029407	0.028986	0.029196	0.000143	171.395
42	27.6	3	0.409	0.202	0.207	50.8	25.1	25.7	0.029574	0.029652	0.029613	0.000145	173.331
41.4	27.6	4	0.404	0.196	0.208	50.3	24.4	25.9	0.029574	0.028819	0.029196	0.000143	170.725
41.1	27.6	5	0.409	0.201	0.208	50.8	25	25.9	0.029908	0.029319	0.029613	0.000145	172.339
41.42	27.6		Permanent strain (%) =					0.1				0.0001444	171.5926

Sequence No. = 3 Last 5 pulses of 100

41.1	41.4	1	0.517	0.3	0.217	64.3	37.3	27	0.04411	0.042479	0.043295	0.000212	175.792
41.6	41.4	2	0.52	0.3	0.22	64.7	37.3	27.3	0.043609	0.042979	0.043294	0.000212	176.018
41.4	41.4	3	0.517	0.299	0.218	64.3	37.1	27.1	0.041437	0.042645	0.042041	0.000206	180.214
41.4	41.4	4	0.519	0.301	0.218	64.5	37.4	27.1	0.04411	0.043645	0.043878	0.000215	173.785
41.4	41.4	5	0.519	0.301	0.218	64.5	37.4	27.1	0.044277	0.042645	0.043461	0.000213	175.642
41.38	41.4		Permanent strain (%) =					0.1				0.0002116	176.2902

Sequence No. = 4 Last 5 pulses of 100

41.4	55.2	1	0.628	0.397	0.231	78.1	49.3	28.8	0.05614	0.056805	0.056473	0.000277	178.003
41.3	55.2	2	0.633	0.399	0.234	78.7	49.6	29.1	0.05614	0.057471	0.056806	0.000278	178.398
41.3	55.2	3	0.633	0.402	0.231	78.7	49.9	28.7	0.057143	0.057804	0.057474	0.000282	177.058
41.3	55.2	4	0.633	0.401	0.232	78.7	49.8	28.8	0.05731	0.056139	0.056724	0.000278	179.261
41.3	55.2	5	0.633	0.4	0.233	78.7	49.7	28.9	0.057477	0.056472	0.056974	0.000279	178.274
41.32	55.2		Permanent strain (%) =					0.1				0.0002788	178.1988

Sequence No. = 5 Last 5 pulses of 100

41.4	68.9	1	0.741	0.5	0.241	92.1	62.2	29.9	0.06817	0.071131	0.069651	0.000341	182.291
41.4	68.9	2	0.738	0.497	0.241	91.7	61.7	30	0.069006	0.070965	0.069985	0.000343	179.969
41.4	68.9	3	0.738	0.497	0.241	91.7	61.7	30	0.069173	0.070132	0.069652	0.000341	181.025
41.3	68.9	4	0.741	0.502	0.239	92.1	62.4	29.7	0.06934	0.072297	0.070819	0.000347	179.83
41.3	68.9	5	0.739	0.5	0.239	91.9	62.2	29.7	0.06817	0.070631	0.069401	0.00034	182.827
41.36	68.9		Permanent strain (%) =					0.2				0.0003424	181.1884

Sequence No. = 6 Last 5 pulses of 100

27.5	13.8	1	0.312	0.099	0.213	38.8	12.3	26.5	0.016207	0.016159	0.016183	0.000079	155.427
28.1	13.8	2	0.312	0.1	0.212	38.8	12.4	26.3	0.016374	0.015659	0.016017	0.000079	157.249
27.7	13.8	3	0.313	0.101	0.212	38.9	12.6	26.3	0.015205	0.015492	0.015348	0.000075	168.193
27.6	13.8	4	0.313	0.099	0.215	38.9	12.3	26.7	0.015873	0.015825	0.015849	0.000078	157.42
27.3	13.8	5	0.312	0.1	0.211	38.8	12.5	26.3	0.015539	0.016825	0.016182	0.000079	157.856
27.64	13.8		Permanent strain (%) =					0.2				0.000078	159.229

Sequence No. = 7 Last 5 pulses of 100

27.6	27.6	1	0.417	0.199	0.218	51.8	24.7	27.1	0.032414	0.030651	0.031533	0.000155	159.364
27.5	27.6	2	0.414	0.197	0.217	51.4	24.5	27	0.030409	0.030985	0.030697	0.00015	163.077
27.4	27.6	3	0.415	0.199	0.216	51.6	24.8	26.8	0.030911	0.030485	0.030698	0.00015	165.315
27.3	27.6	4	0.414	0.196	0.218	51.4	24.3	27.1	0.031245	0.031151	0.031198	0.000153	158.939
28.1	27.6	5	0.417	0.198	0.219	51.8	24.6	27.2	0.032247	0.032984	0.032615	0.00016	153.484
27.58	27.6		Permanent strain (%) =					0.2				0.0001536	160.0358

Confining stress	Target max.ax. stress	Cycle No.	Actual maximum load	Actual cyclic load	Actual contact load	Actual max.ax. stress	Actual cyclic stress	Actual contact stress	Recov.Def. LVDT 1	Recov.Def. LVDT 2	Average Recov.Def.	Resilient strain	Resilient modulus
kPa	kPa		kN	kN	kN	kPa	kPa	kPa	mm	mm	mm	mm/mm	MPa
Sequence No. = 8 Last 5 pulses of 100													
28.1	41.4	1	0.526	0.298	0.228	65.4	37.1	28.3	0.046115	0.04681	0.046463	0.000228	162.614
27.6	41.4	2	0.526	0.302	0.224	65.4	37.6	27.9	0.044946	0.04581	0.045378	0.000222	169.17
27.5	41.4	3	0.529	0.3	0.229	65.8	37.3	28.5	0.046784	0.045977	0.04638	0.000227	164.387
27.3	41.4	4	0.525	0.296	0.229	65.2	36.8	28.4	0.046617	0.046643	0.04663	0.000229	160.648
27.3	41.4	5	0.528	0.301	0.227	65.6	37.4	28.3	0.046282	0.045977	0.04613	0.000226	165.327
27.56	41.4	Permanent strain (%) =						0.2				0.0002264	164.4292
Sequence No. = 9 Last 5 pulses of 100													
27.5	55.2	1	0.642	0.4	0.242	79.8	49.7	30.1	0.058647	0.060803	0.059725	0.000293	169.756
27.4	55.2	2	0.642	0.399	0.243	79.8	49.5	30.3	0.058814	0.059803	0.059309	0.000291	170.263
27.2	55.2	3	0.644	0.401	0.243	80	49.8	30.2	0.058647	0.059803	0.059225	0.00029	171.843
28.1	55.2	4	0.64	0.396	0.244	79.6	49.3	30.4	0.058647	0.059803	0.059225	0.00029	169.858
27.7	55.2	5	0.644	0.402	0.241	80	50	30	0.058981	0.060303	0.059642	0.000292	171.323
27.58	55.2	Permanent strain (%) =						0.2				0.0002912	170.6086
Sequence No. = 10 Last 5 pulses of 100													
27.5	68.9	1	0.747	0.499	0.248	92.9	62	30.8	0.07051	0.073796	0.072153	0.000354	175.19
27.5	68.9	2	0.747	0.5	0.247	92.9	62.1	30.7	0.070677	0.072964	0.07182	0.000352	176.458
27.4	68.9	3	0.745	0.496	0.249	92.7	61.7	31	0.070175	0.072964	0.071569	0.000351	175.731
27.4	68.9	4	0.748	0.5	0.248	93	62.2	30.9	0.071178	0.07363	0.072404	0.000355	175.102
28.1	68.9	5	0.747	0.499	0.248	92.9	62	30.8	0.070677	0.073297	0.071987	0.000353	175.686
27.58	68.9	Permanent strain (%) =						0.2				0.000353	175.6334
Sequence No. = 11 Last 5 pulses of 100													
14.2	13.8	1	0.327	0.101	0.226	40.7	12.6	28.1	0.016876	0.017158	0.017017	0.000083	151.982
13.8	13.8	2	0.326	0.101	0.225	40.5	12.6	27.9	0.01721	0.016325	0.016767	0.000082	153.25
13.7	13.8	3	0.327	0.101	0.226	40.7	12.6	28.1	0.016876	0.017491	0.017183	0.000084	149.602
13.6	13.8	4	0.323	0.096	0.227	40.1	11.9	28.2	0.017043	0.016159	0.016601	0.000081	146.852
13.6	13.8	5	0.329	0.103	0.226	40.9	12.8	28.1	0.016374	0.015992	0.016183	0.000079	161.499
13.78	13.8	Permanent strain (%) =						0.2				0.0000818	152.637
Sequence No. = 12 Last 5 pulses of 100													
14.4	27.6	1	0.434	0.201	0.232	53.9	25	28.9	0.033417	0.033317	0.033367	0.000164	152.665
13.7	27.6	2	0.432	0.201	0.231	53.7	25	28.7	0.033417	0.03315	0.033283	0.000163	153.308
13.6	27.6	3	0.432	0.198	0.234	53.7	24.6	29.1	0.033083	0.03265	0.032867	0.000161	152.829
13.4	27.6	4	0.434	0.201	0.233	53.9	24.9	29	0.034252	0.032984	0.033618	0.000165	151.159
14.6	27.6	5	0.432	0.199	0.233	53.7	24.7	29	0.033417	0.032484	0.03295	0.000162	152.478
13.94	27.6	Permanent strain (%) =						0.2				0.000163	152.4878
Sequence No. = 13 Last 5 pulses of 100													
13.7	41.4	1	0.539	0.3	0.238	67	37.3	29.6	0.048956	0.048309	0.048632	0.000238	156.789
13.6	41.4	2	0.542	0.302	0.239	67.3	37.6	29.7	0.048956	0.049808	0.049382	0.000242	155.387
13.5	41.4	3	0.54	0.3	0.24	67.1	37.3	29.8	0.047619	0.048976	0.048297	0.000237	157.451
14.3	41.4	4	0.539	0.301	0.238	67	37.4	29.6	0.048622	0.048476	0.048549	0.000238	156.991
13.8	41.4	5	0.542	0.301	0.241	67.3	37.4	29.9	0.047953	0.048809	0.048381	0.000237	157.856
13.78	41.4	Permanent strain (%) =						0.2				0.0002384	156.8948
Sequence No. = 14 Last 5 pulses of 100													
13.9	55.2	1	0.653	0.403	0.25	81.2	50.1	31.1	0.06249	0.064301	0.063395	0.000311	161.011
13.8	55.2	2	0.65	0.399	0.251	80.8	49.6	31.2	0.062991	0.062969	0.06298	0.000309	160.5
13.8	55.2	3	0.65	0.399	0.251	80.8	49.6	31.2	0.061988	0.062802	0.062395	0.000306	162.074
13.7	55.2	4	0.65	0.399	0.25	80.8	49.6	31.1	0.062322	0.062969	0.062645	0.000307	161.702
13.6	55.2	5	0.651	0.4	0.252	81	49.7	31.3	0.06132	0.062136	0.061728	0.000303	163.995
13.76	55.2	Permanent strain (%) =						0.2				0.0003072	161.8564
Sequence No. = 15 Last 5 pulses of 100													
14.2	68.9	1	0.758	0.498	0.26	94.2	61.9	32.3	0.07452	0.077628	0.076074	0.000373	166.009
13.6	68.9	2	0.758	0.5	0.258	94.2	62.2	32	0.073684	0.076295	0.07499	0.000368	168.916
13.5	68.9	3	0.759	0.5	0.259	94.4	62.2	32.2	0.074687	0.074963	0.074825	0.000367	169.507
14.3	68.9	4	0.758	0.501	0.257	94.2	62.3	31.9	0.074854	0.076628	0.075741	0.000371	167.809
13.7	68.9	5	0.753	0.496	0.257	93.6	61.7	31.9	0.07335	0.075462	0.074406	0.000365	168.99
13.86	68.9	Permanent strain (%) =						0.2				0.0003688	168.2462

PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATOLICA DEL ECUADOR

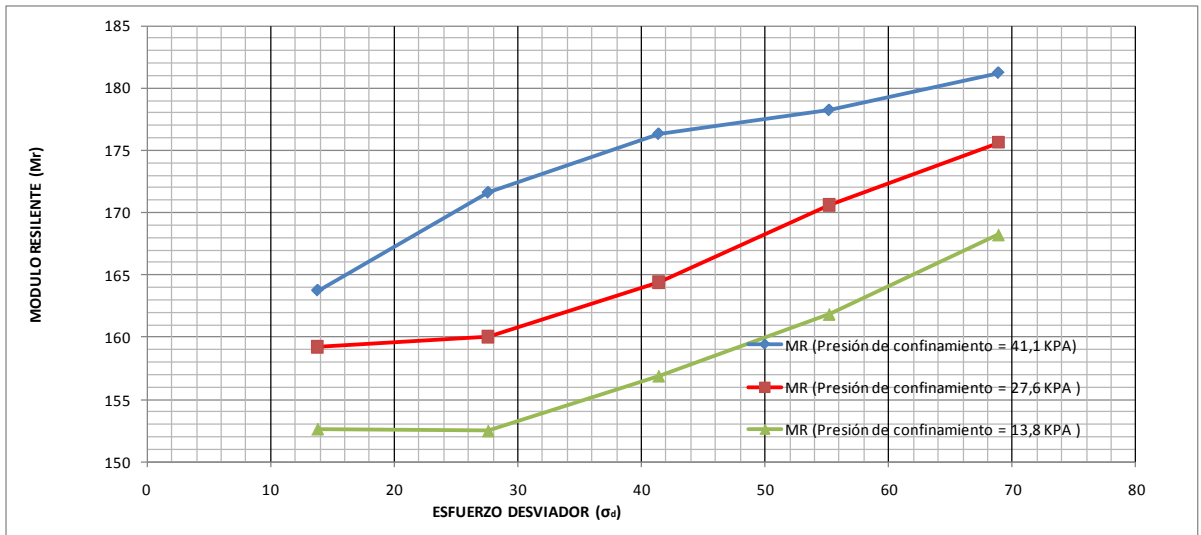
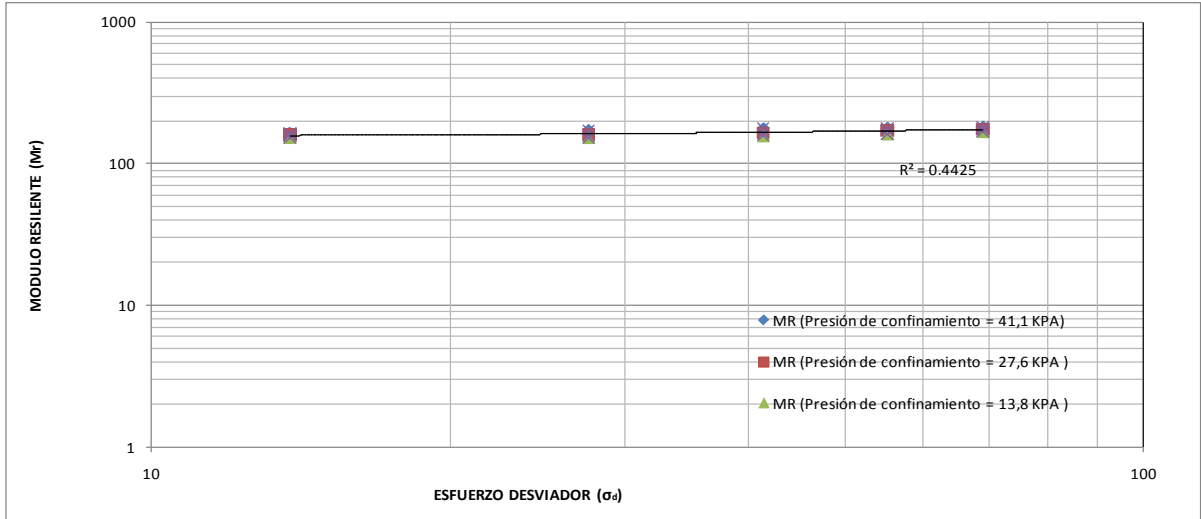
ENSAYO DE MODULO DE RESILIENCIA

SUELO CH + CaCl₂ **ABS:** 1+500
NORMA AASHTO T 307-99 (2007)

DATOS INICIALES

D SUPERIOR : 101.53 mm.	A SUPERIOR : 80.96 cm ² .	P MUESTRA : 3005.1 gr.
D MEDIO : 100.94 mm.	A MEDIO : 80.02 cm ² .	V MUESTRA : 1635.91 cm ³
D INFERIOR : 101 mm.	A INFERIOR : 80.12 cm ² .	γ HUMEDA : 1.837 gr/cm ³
H INICIAL : 203.99 mm.	A MEDIA : 80.20 cm ² .	γ SECA : 1.426 gr/cm ³

SECUENCIA N°	RESILIENT STRAIN Rr mm / mm	CYCLIC STRESS σd KPa	CELL PRESURE σ3 KPa	NÚMERO DE APLIC. DE CARGA	MÓDULO RESILIENTE Mr MPa	CONTENIDO DE HUMEDAD		
1	0.0000760	13.8	41.5	100	163.7			
2	0.0001444	27.6	41.42	100	171.6			
3	0.0002116	41.4	41.38	100	176.3			
4	0.0002788	55.2	41.32	100	178.2	Pcap. + sh.	30.30	gr
5	0.0003424	68.9	41.36	100	181.2	Pcap. + ss.	27.53	gr
6	0.000078	13.8	27.64	100	159.2	Pcap.	17.92	gr
7	0.000154	27.6	27.58	100	160.0	% Humedad	28.82	%
8	0.000226	41.4	27.56	100	164.4			
9	0.000291	55.2	27.58	100	170.6			
10	0.000353	68.9	27.58	100	175.6			
11	0.000082	13.8	13.78	100	152.6			
12	0.000163	27.6	13.94	100	152.5			
13	0.000238	41.4	13.78	100	156.9			
14	0.000307	55.2	13.76	100	161.9			
15	0.000369	68.9	13.86	100	168.2			



Cyclic Triaxial Test

Sample number = Muestra 3

Material Type = CL ABS: 3+000

Specimen diameter (mm) = 101.7

Specimen height (mm) = 203.8

Confining stress	Target max.ax. stress	Cycle No.	Actual maximum load	Actual cyclic load	Actual contact load	Actual max.ax. stress	Actual cyclic stress	Actual contact stress	Recov.Def. LVDT 1	Recov.Def. LVDT 2	Average Recov.Def.	Resilient strain	Resilient modulus
kPa	kPa		kN	kN	kN	kPa	kPa	kPa	mm	mm	mm	mm/mm	MPa

Sequence No. = 1 Last 5 pulses of 100

41.4	13.8	1	0.242	0.103	0.139	29.8	12.7	17.1	0.042607	0.041812	0.042209	0.000207	61.26
40.6	13.8	2	0.239	0.101	0.139	29.4	12.4	17.1	0.042439	0.042979	0.042709	0.00021	59.028
41.8	13.8	3	0.241	0.103	0.138	29.6	12.7	17	0.043275	0.043645	0.04346	0.000213	59.534
41.7	13.8	4	0.239	0.101	0.138	29.4	12.4	17	0.042439	0.041146	0.041793	0.000205	60.699
41.6	13.8	5	0.239	0.101	0.138	29.4	12.4	17	0.041604	0.04098	0.041292	0.000203	61.297
41.42	13.8		Permanent strain (%) =					0.6				0.0002076	60.3636

Sequence No. = 2 Last 5 pulses of 100

40.8	27.6	1	0.361	0.197	0.164	44.5	24.3	20.2	0.09056	0.090788	0.090674	0.000445	54.537
42.2	27.6	2	0.36	0.194	0.165	44.3	23.9	20.3	0.088388	0.089788	0.089088	0.000437	54.775
42.1	27.6	3	0.364	0.201	0.164	44.8	24.7	20.1	0.087719	0.088622	0.088171	0.000433	57.036
40.9	27.6	4	0.367	0.202	0.166	45.2	24.8	20.4	0.089056	0.089955	0.089505	0.000439	56.581
41	27.6	5	0.364	0.199	0.166	44.8	24.5	20.4	0.09056	0.091621	0.09109	0.000447	54.718
41.4	27.6		Permanent strain (%) =					0.7				0.0004402	55.5294

Sequence No. = 3 Last 5 pulses of 100

41.6	41.4	1	0.534	0.309	0.225	65.7	38	27.7	0.152715	0.156255	0.154485	0.000758	50.125
40.6	41.4	2	0.531	0.302	0.228	65.4	37.2	28.1	0.152882	0.155256	0.154069	0.000756	49.252
41.3	41.4	3	0.529	0.302	0.227	65.2	37.2	27.9	0.154887	0.158421	0.156654	0.000769	48.42
41.8	41.4	4	0.529	0.302	0.227	65.2	37.2	28	0.152715	0.154589	0.153652	0.000754	49.32
41.7	41.4	5	0.531	0.302	0.229	65.4	37.1	28.2	0.152047	0.155089	0.153568	0.000754	49.257
41.4	41.4		Permanent strain (%) =					0.9				0.0007582	49.2748

Sequence No. = 4 Last 5 pulses of 100

40.7	55.2	1	0.656	0.402	0.253	80.7	49.5	31.2	0.224728	0.229885	0.227307	0.001115	44.427
41.6	55.2	2	0.656	0.402	0.254	80.7	49.5	31.3	0.22807	0.231384	0.229727	0.001127	43.911
41.6	55.2	3	0.657	0.407	0.25	80.9	50.1	30.8	0.225063	0.230385	0.227724	0.001117	44.857
41.6	55.2	4	0.657	0.405	0.253	80.9	49.8	31.1	0.22406	0.228219	0.22614	0.00111	44.883
41.5	55.2	5	0.662	0.41	0.252	81.5	50.5	31	0.225397	0.229219	0.227308	0.001115	45.321
41.4	55.2		Permanent strain (%) =					1.1				0.0011168	44.6798

Sequence No. = 5 Last 5 pulses of 100

40.5	68.9	1	0.782	0.505	0.278	96.3	62.1	34.2	0.302256	0.309678	0.305967	0.001501	41.387
41.8	68.9	2	0.785	0.507	0.279	96.7	62.4	34.3	0.304428	0.311678	0.308053	0.001512	41.243
41.7	68.9	3	0.782	0.506	0.276	96.3	62.3	34	0.302924	0.308179	0.305552	0.001499	41.569
41.5	68.9	4	0.781	0.504	0.277	96.1	62.1	34.1	0.300585	0.307513	0.304049	0.001492	41.604
40.4	68.9	5	0.781	0.503	0.277	96.1	62	34.1	0.30142	0.308179	0.3048	0.001496	41.43
41.18	68.9		Permanent strain (%) =					1.5				0.0015	41.4466

Sequence No. = 6 Last 5 pulses of 100

28.1	13.8	1	0.287	0.098	0.189	35.3	12.1	23.3	0.049123	0.049808	0.049466	0.000243	49.643
27.9	13.8	2	0.29	0.102	0.188	35.7	12.6	23.1	0.047786	0.048476	0.048131	0.000236	53.329
27.9	13.8	3	0.287	0.1	0.187	35.3	12.3	23	0.047953	0.048976	0.048464	0.000238	51.884
26.7	13.8	4	0.289	0.101	0.188	35.5	12.4	23.1	0.047285	0.049142	0.048213	0.000237	52.503
27.8	13.8	5	0.292	0.103	0.188	35.9	12.7	23.2	0.049624	0.049309	0.049466	0.000243	52.38
27.68	13.8		Permanent strain (%) =					1.3				0.0002394	51.9478

Sequence No. = 7 Last 5 pulses of 100

27.9	27.6	1	0.424	0.206	0.218	52.2	25.4	26.8	0.107937	0.111444	0.10969	0.000538	47.229
27.9	27.6	2	0.42	0.199	0.22	51.7	24.6	27.1	0.10944	0.110278	0.109859	0.000539	45.555
26.7	27.6	3	0.423	0.204	0.219	52.1	25.1	26.9	0.10944	0.110778	0.110109	0.00054	46.526
27.9	27.6	4	0.421	0.202	0.219	51.9	24.9	27	0.110443	0.11361	0.112026	0.00055	45.248
27.7	27.6	5	0.42	0.201	0.219	51.7	24.7	27	0.108605	0.110778	0.109691	0.000538	45.904
27.62	27.6		Permanent strain (%) =					1.4				0.000541	46.0924

Confining stress	Target max.ax. stress	Cycle No.	Actual maximum load	Actual cyclic load	Actual contact load	Actual max.ax. stress	Actual cyclic stress	Actual contact stress	Recov.Def. LVDT 1	Recov.Def. LVDT 2	Average Recov.Def.	Resilient strain	Resilient modulus
kPa	kPa		kN	kN	kN	kPa	kPa	kPa	mm	mm	mm	mm/mm	MPa
Sequence No. = 8 Last 5 pulses of 100													
28	41.4	1	0.543	0.301	0.242	66.9	37.1	29.8	0.176608	0.181243	0.178925	0.000878	42.246
27.8	41.4	2	0.546	0.304	0.242	67.3	37.5	29.8	0.172097	0.176578	0.174338	0.000855	43.827
27.8	41.4	3	0.545	0.302	0.243	67.1	37.2	29.9	0.172765	0.175412	0.174089	0.000854	43.545
26.8	41.4	4	0.546	0.303	0.243	67.3	37.3	29.9	0.173099	0.177578	0.175339	0.00086	43.407
27.8	41.4	5	0.545	0.302	0.242	67.1	37.2	29.8	0.17477	0.178911	0.17684	0.000868	42.897
27.64	41.4	Permanent strain (%) = 1.4										0.000863	43.1844
Sequence No. = 9 Last 5 pulses of 100													
27.6	55.2	1	0.668	0.407	0.262	82.3	50.1	32.2	0.2401	0.245044	0.242572	0.00119	42.066
27	55.2	2	0.667	0.405	0.261	82.1	49.9	32.2	0.237928	0.242545	0.240237	0.001179	42.337
27.9	55.2	3	0.665	0.404	0.261	81.9	49.8	32.1	0.2401	0.245044	0.242572	0.00119	41.826
27.8	55.2	4	0.667	0.406	0.26	82.1	50	32.1	0.239098	0.244544	0.241821	0.001187	42.132
27.7	55.2	5	0.668	0.407	0.262	82.3	50.1	32.2	0.236257	0.241546	0.238902	0.001172	42.712
27.6	55.2	Permanent strain (%) = 1.4										0.0011836	42.2146
Sequence No. = 10 Last 5 pulses of 100													
26.8	68.9	1	0.787	0.503	0.284	96.9	61.9	35	0.3066	0.313677	0.310138	0.001522	40.691
27.6	68.9	2	0.787	0.506	0.281	96.9	62.3	34.6	0.30944	0.315342	0.312391	0.001533	40.616
27.9	68.9	3	0.789	0.507	0.281	97.1	62.5	34.6	0.303926	0.310845	0.307386	0.001508	41.415
27.9	68.9	4	0.787	0.505	0.282	96.9	62.1	34.8	0.305263	0.311511	0.308387	0.001513	41.058
27.8	68.9	5	0.785	0.504	0.281	96.7	62.1	34.6	0.30543	0.310845	0.308137	0.001512	41.054
27.6	68.9	Permanent strain (%) = 1.5										0.0015176	40.9668
Sequence No. = 11 Last 5 pulses of 100													
14.1	13.8	1	0.295	0.103	0.192	36.3	12.7	23.6	0.050627	0.053473	0.05205	0.000255	49.728
13.3	13.8	2	0.295	0.101	0.193	36.3	12.5	23.8	0.051128	0.05264	0.051884	0.000255	48.983
13.4	13.8	3	0.295	0.1	0.195	36.3	12.3	24	0.050292	0.052141	0.051216	0.000251	48.818
13.4	13.8	4	0.293	0.099	0.194	36.1	12.2	23.9	0.051295	0.052141	0.051718	0.000254	48.054
14.5	13.8	5	0.296	0.103	0.194	36.5	12.6	23.8	0.050125	0.051974	0.05105	0.00025	50.533
13.74	13.8	Permanent strain (%) = 1.4										0.000253	49.2232
Sequence No. = 12 Last 5 pulses of 100													
14.3	27.6	1	0.427	0.2	0.228	52.6	24.6	28	0.113784	0.116775	0.11528	0.000566	43.466
14.2	27.6	2	0.427	0.199	0.228	52.6	24.5	28.1	0.113116	0.116275	0.114696	0.000563	43.529
12.9	27.6	3	0.431	0.203	0.228	53	25	28	0.114453	0.116775	0.115614	0.000567	44.059
13.2	27.6	4	0.429	0.199	0.23	52.8	24.5	28.3	0.114954	0.117941	0.116448	0.000571	42.919
14.5	27.6	5	0.427	0.201	0.226	52.6	24.8	27.8	0.115121	0.117608	0.116365	0.000571	43.418
13.82	27.6	Permanent strain (%) = 1.4										0.0005676	43.4782
Sequence No. = 13 Last 5 pulses of 100													
14.2	41.4	1	0.559	0.303	0.256	68.8	37.3	31.5	0.183793	0.186573	0.185183	0.000909	41.015
12.8	41.4	2	0.559	0.306	0.253	68.8	37.6	31.2	0.181955	0.185574	0.183764	0.000902	41.702
13.2	41.4	3	0.559	0.305	0.254	68.8	37.5	31.3	0.185965	0.188739	0.187352	0.000919	40.827
14.5	41.4	4	0.559	0.303	0.255	68.8	37.3	31.4	0.183626	0.187739	0.185683	0.000911	40.977
14.2	41.4	5	0.559	0.303	0.256	68.8	37.3	31.5	0.180785	0.185074	0.18293	0.000898	41.517
13.78	41.4	Permanent strain (%) = 1.5										0.0009078	41.2076
Sequence No. = 14 Last 5 pulses of 100													
14.1	55.2	1	0.679	0.406	0.273	83.6	50	33.6	0.246449	0.250875	0.248662	0.00122	40.992
14.1	55.2	2	0.677	0.406	0.271	83.4	50	33.4	0.247118	0.251041	0.249079	0.001222	40.925
13.7	55.2	3	0.673	0.401	0.272	82.8	49.3	33.5	0.246282	0.250875	0.248578	0.00122	40.447
12.6	55.2	4	0.679	0.406	0.273	83.6	50	33.6	0.246784	0.252707	0.249745	0.001225	40.825
14.6	55.2	5	0.676	0.403	0.273	83.2	49.6	33.6	0.249457	0.253873	0.251665	0.001235	40.187
13.82	55.2	Permanent strain (%) = 1.5										0.0012244	40.6752
Sequence No. = 15 Last 5 pulses of 100													
14.2	68.9	1	0.799	0.502	0.297	98.4	61.8	36.6	0.319298	0.325171	0.322234	0.001581	39.112
14.2	68.9	2	0.802	0.505	0.297	98.8	62.2	36.6	0.31863	0.324671	0.32165	0.001578	39.397
13	68.9	3	0.802	0.505	0.297	98.8	62.2	36.6	0.320134	0.325337	0.322735	0.001584	39.248
13.3	68.9	4	0.799	0.503	0.297	98.4	61.9	36.5	0.320802	0.327836	0.324319	0.001591	38.896
14.4	68.9	5	0.799	0.505	0.294	98.4	62.2	36.2	0.321972	0.328669	0.32532	0.001596	38.953
13.82	68.9	Permanent strain (%) = 1.6										0.001586	39.1212

PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATOLICA DEL ECUADOR

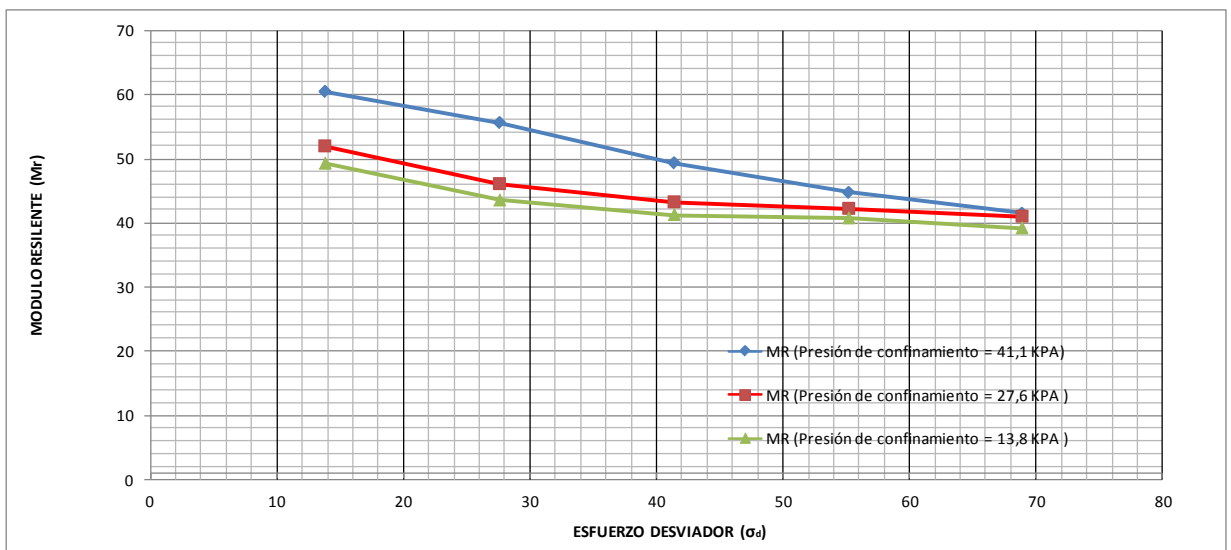
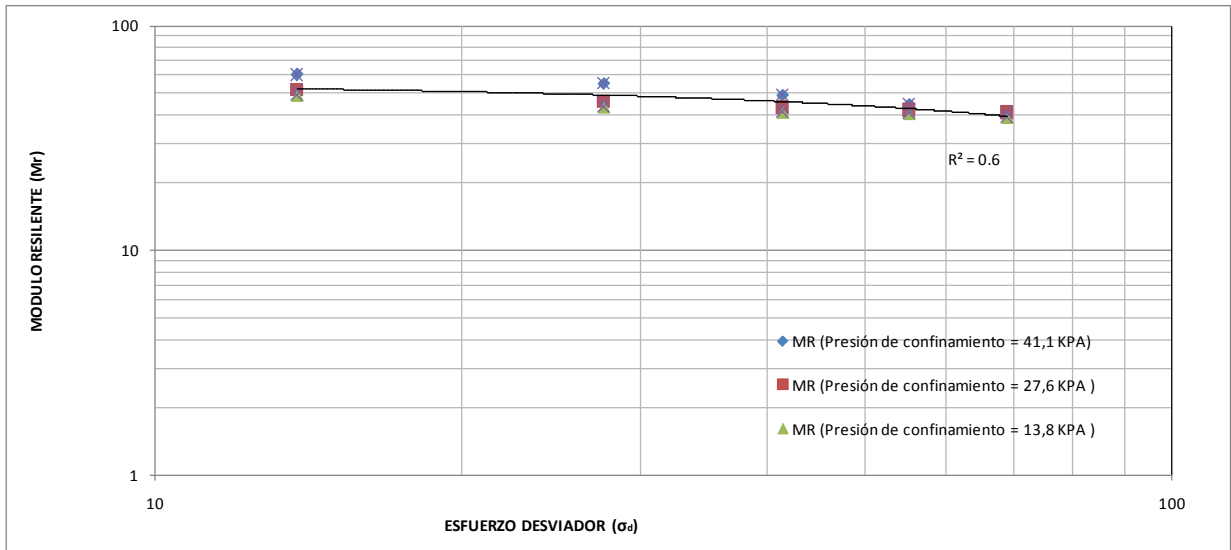
ENSAYO DE MODULO DE RESILIENCIA

SUELO CL **ABS:** 3+000
NORMA AASHTO T 307-99 (2007)

DATOS INICIALES

D SUPERIOR : 101.7 mm.	A SUPERIOR : 81.23 cm ² .	P MUESTRA : 3088.6 gr.
D MEDIO : 101.95 mm.	A MEDIO : 81.63 cm ² .	V MUESTRA : 1660.42 cm ³
D INFERIOR : 101.54 mm.	A INFERIOR : 80.98 cm ² .	γ HUMEDA : 1.860 gr/cm ³
H INICIAL : 203.84 mm.	A MEDIA : 81.46 cm ² .	γ SECA : 1.506 gr/cm ³

SECUENCIA N°	RESILIENT STRAIN Rr mm / mm	CYCLIC STRESS σd KPa	CELL PRESURE σ3 KPa	NÚMERO DE APLIC. DE CARGA	MÓDULO RESILIENTE Mr MPa	CONTENIDO DE HUMEDAD		
1	0.0002076	13.80	41.42	100	60.4			
2	0.0004402	27.60	41.40	100	55.5			
3	0.0007582	41.40	41.40	100	49.3			
4	0.0011168	55.20	41.40	100	44.7	Pcap. + sh.	46.16	gr
5	0.0015000	68.90	41.18	100	41.4	Pcap. + ss.	40.91	gr
6	0.0002394	13.80	27.68	100	51.9	Pcap.	18.61	gr
7	0.0005410	27.60	27.62	100	46.1	% Humedad	23.54	%
8	0.0008630	41.40	27.64	100	43.2			
9	0.0011836	55.20	27.60	100	42.2			
10	0.0015176	68.90	27.60	100	41.0			
11	0.000253	13.80	13.74	100	49.2			
12	0.000568	27.60	13.82	100	43.5			
13	0.000908	41.40	13.78	100	41.2			
14	0.001224	55.20	13.82	100	40.7			
15	0.001586	68.90	13.82	100	39.1			



Cyclic Triaxial Test

Sample number = Muestra 4

Material Type = CL + CaCl₂

ABS: 3+000

Specimen diameter (mm) = 101.5

Specimen height (mm) = 205.1

Confining stress kPa	Target max.ax. stress kPa	Cycle No.	Actual maximum load kN	Actual cyclic load kN	Actual contact load kN	Actual max.ax. stress kPa	Actual cyclic stress kPa	Actual contact stress kPa	Recov.Def. LVDT 1 mm	Recov.Def. LVDT 2 mm	Average Recov.Def. mm	Resilient strain mm/mm	Resilient modulus MPa
-------------------------	------------------------------	-----------	---------------------------	--------------------------	---------------------------	------------------------------	-----------------------------	------------------------------	-------------------------	-------------------------	--------------------------	---------------------------	--------------------------

Sequence No. = 1 Last 5 pulses of 100

40.8	13.8	1	0.159	0.103	0.056	19.6	12.7	6.9	0.056642	0.064468	0.060555	0.000295	43.155
40.9	13.8	2	0.156	0.1	0.056	19.3	12.3	7	0.057143	0.064634	0.060889	0.000297	41.42
42.2	13.8	3	0.157	0.101	0.057	19.5	12.4	7	0.057811	0.065134	0.061473	0.0003	41.482
42	13.8	4	0.154	0.101	0.053	19.1	12.5	6.6	0.05614	0.063968	0.060054	0.000293	42.636
41	13.8	5	0.157	0.101	0.056	19.5	12.5	6.9	0.054971	0.061303	0.058137	0.000283	44.311
41.38	13.8		Permanent strain (%) =					0.7				0.0002936	42.6008

Sequence No. = 2 Last 5 pulses of 100

41.8	27.6	1	0.29	0.199	0.091	35.9	24.6	11.3	0.124144	0.126437	0.12529	0.000611	40.267
41.6	27.6	2	0.292	0.201	0.09	36	24.9	11.2	0.120468	0.121606	0.121037	0.00059	42.185
41.6	27.6	3	0.292	0.201	0.09	36	24.9	11.2	0.122807	0.124604	0.123706	0.000603	41.276
40.7	27.6	4	0.295	0.202	0.093	36.4	24.9	11.5	0.12147	0.122772	0.122121	0.000595	41.911
41.8	27.6	5	0.292	0.201	0.091	36	24.8	11.3	0.12264	0.124771	0.123705	0.000603	41.118
41.5	27.6		Permanent strain (%) =					0.8				0.0006004	41.3514

Sequence No. = 3 Last 5 pulses of 100

41.5	41.4	1	0.435	0.304	0.131	53.8	37.6	16.2	0.209023	0.210062	0.209542	0.001022	36.764
40.5	41.4	2	0.435	0.303	0.132	53.8	37.5	16.3	0.21086	0.21356	0.21221	0.001035	36.21
41.8	41.4	3	0.434	0.305	0.129	53.6	37.7	15.9	0.213033	0.21356	0.213296	0.00104	36.219
41.7	41.4	4	0.432	0.302	0.13	53.4	37.3	16.1	0.208187	0.209229	0.208708	0.001018	36.674
41.5	41.4	5	0.435	0.303	0.132	53.8	37.4	16.4	0.210526	0.212394	0.21146	0.001031	36.304
41.4	41.4		Permanent strain (%) =					1				0.0010292	36.4342

Sequence No. = 4 Last 5 pulses of 100

41.5	55.2	1	0.574	0.402	0.172	70.9	49.7	21.3	0.318129	0.319007	0.318568	0.001553	31.992
40.7	55.2	2	0.574	0.402	0.172	70.9	49.7	21.3	0.319131	0.318674	0.318903	0.001555	31.951
41.6	55.2	3	0.579	0.407	0.172	71.5	50.3	21.3	0.322139	0.321672	0.321906	0.00157	32.01
41.6	55.2	4	0.577	0.407	0.17	71.3	50.4	21	0.319465	0.319007	0.319236	0.001556	32.359
41.6	55.2	5	0.574	0.403	0.171	70.9	49.8	21.2	0.316458	0.317008	0.316733	0.001544	32.24
41.4	55.2		Permanent strain (%) =					1.5				0.0015556	32.1104

Sequence No. = 5 Last 5 pulses of 100

41.1	68.9	1	0.719	0.511	0.208	88.9	63.1	25.7	0.413868	0.414293	0.41408	0.002019	31.268
41	68.9	2	0.716	0.508	0.208	88.5	62.7	25.7	0.417878	0.418457	0.418168	0.002039	30.774
41.4	68.9	3	0.715	0.504	0.211	88.3	62.3	26	0.415372	0.415126	0.415249	0.002025	30.751
41.9	68.9	4	0.716	0.508	0.208	88.5	62.8	25.7	0.416541	0.417291	0.416916	0.002033	30.888
41.8	68.9	5	0.713	0.507	0.206	88.1	62.6	25.5	0.414035	0.414459	0.414247	0.00202	30.992
41.44	68.9		Permanent strain (%) =					2.2				0.0020272	30.9346

Sequence No. = 6 Last 5 pulses of 100

27.7	13.8	1	0.188	0.1	0.089	23.3	12.3	11	0.065664	0.0673	0.066482	0.000324	37.968
27.7	13.8	2	0.188	0.101	0.088	23.3	12.4	10.8	0.067335	0.068632	0.067984	0.000331	37.597
27.2	13.8	3	0.19	0.103	0.087	23.5	12.7	10.7	0.065998	0.068632	0.067315	0.000328	38.813
27.2	13.8	4	0.188	0.101	0.087	23.3	12.5	10.8	0.065998	0.067799	0.066899	0.000326	38.32
28.2	13.8	5	0.185	0.096	0.089	22.9	11.9	11	0.066834	0.068466	0.06765	0.00033	35.977
27.6	13.8		Permanent strain (%) =					1.9				0.0003278	37.735

Sequence No. = 7 Last 5 pulses of 100

26.9	27.6	1	0.327	0.202	0.125	40.4	24.9	15.5	0.153216	0.15259	0.152903	0.000746	33.428
27.5	27.6	2	0.326	0.197	0.129	40.2	24.3	15.9	0.155556	0.156755	0.156155	0.000761	31.954
27.8	27.6	3	0.324	0.201	0.123	40.1	24.9	15.2	0.155723	0.155755	0.155739	0.000759	32.792
27.8	27.6	4	0.327	0.203	0.124	40.4	25.1	15.4	0.154052	0.155755	0.154904	0.000755	33.219
27.8	27.6	5	0.327	0.204	0.123	40.4	25.2	15.3	0.154553	0.155256	0.154904	0.000755	33.345
27.56	27.6		Permanent strain (%) =					2				0.0007552	32.9476

Confining stress kPa	Target max.ax. stress kPa	Cycle No.	Actual maximum load kN	Actual cyclic load kN	Actual contact load kN	Actual max.ax. stress kPa	Actual cyclic stress kPa	Actual contact stress kPa	Recov.Def. LVDT 1 mm	Recov.Def. LVDT 2 mm	Average Recov.Def. mm	Resilient strain mm/mm	Resilient modulus MPa
-------------------------	------------------------------	-----------	---------------------------	--------------------------	---------------------------	------------------------------	-----------------------------	------------------------------	-------------------------	-------------------------	--------------------------	---------------------------	--------------------------

Sequence No. = 8 Last 5 pulses of 100

27.7	41.4	1	0.463	0.302	0.161	57.2	37.3	19.9	0.246282	0.246044	0.246163	0.0012	31.112	
27.7	41.4	2	0.465	0.304	0.16	57.4	37.6	19.8	0.244946	0.245544	0.245245	0.001196	31.455	
27.7	41.4	3	0.465	0.304	0.161	57.4	37.5	19.9	0.246617	0.247543	0.24708	0.001205	31.141	
27.6	41.4	4	0.465	0.303	0.162	57.4	37.4	20	0.247953	0.248376	0.248165	0.00121	30.933	
27.6	41.4	5	0.463	0.3	0.163	57.2	37	20.2	0.245948	0.246377	0.246163	0.0012	30.873	
27.66	41.4	Permanent strain (%) =						2					0.0012022	31.1028

Sequence No. = 9 Last 5 pulses of 100

28.1	55.2	1	0.59	0.404	0.186	72.9	49.9	22.9	0.330326	0.331834	0.33108	0.001614	30.93	
28	55.2	2	0.588	0.404	0.184	72.7	49.9	22.8	0.331997	0.331834	0.331915	0.001618	30.825	
26.5	55.2	3	0.59	0.403	0.186	72.9	49.8	23	0.331495	0.330668	0.331082	0.001614	30.871	
27.9	55.2	4	0.588	0.402	0.186	72.7	49.7	22.9	0.334002	0.334999	0.3345	0.001631	30.491	
27.7	55.2	5	0.586	0.404	0.182	72.5	49.9	22.6	0.33183	0.332334	0.332082	0.001619	30.835	
27.64	55.2	Permanent strain (%) =						2.1					0.0016192	30.7904

Sequence No. = 10 Last 5 pulses of 100

27.8	68.9	1	0.707	0.502	0.205	87.4	62	25.4	0.42122	0.42079	0.421005	0.002053	30.192	
27.7	68.9	2	0.708	0.503	0.205	87.5	62.2	25.4	0.417878	0.417625	0.417751	0.002037	30.523	
27.7	68.9	3	0.71	0.503	0.206	87.7	62.2	25.5	0.418379	0.417958	0.418168	0.002039	30.517	
27.7	68.9	4	0.71	0.505	0.205	87.7	62.4	25.3	0.418045	0.418791	0.418418	0.00204	30.595	
27.7	68.9	5	0.713	0.508	0.205	88.1	62.8	25.3	0.417544	0.418457	0.418001	0.002038	30.812	
27.72	68.9	Permanent strain (%) =						2.3					0.0020414	30.5278

Sequence No. = 11 Last 5 pulses of 100

13.8	13.8	1	0.188	0.101	0.088	23.3	12.4	10.8	0.073183	0.07413	0.073656	0.000359	34.665	
13.8	13.8	2	0.188	0.102	0.086	23.3	12.6	10.6	0.073851	0.075296	0.074573	0.000364	34.713	
13.8	13.8	3	0.187	0.101	0.086	23.1	12.5	10.6	0.072013	0.07413	0.073071	0.000356	35.091	
13.8	13.8	4	0.188	0.101	0.087	23.3	12.5	10.7	0.072682	0.074463	0.073572	0.000359	34.93	
13.8	13.8	5	0.298	0.18	0.118	36.8	22.2	14.6	0.071679	0.073297	0.072488	0.000353	62.944	
13.8	13.8	Permanent strain (%) =						2.1					0.0003582	34.84975

Sequence No. = 12 Last 5 pulses of 100

14.2	27.6	1	0.332	0.201	0.131	41	24.8	16.2	0.166082	0.168582	0.167332	0.000816	30.443	
14.2	27.6	2	0.335	0.2	0.135	41.4	24.7	16.7	0.161571	0.163585	0.162578	0.000793	31.146	
13.8	27.6	3	0.333	0.202	0.131	41.2	25	16.2	0.166917	0.169415	0.168166	0.00082	30.469	
12.6	27.6	4	0.338	0.203	0.135	41.8	25.1	16.7	0.161905	0.163751	0.162828	0.000794	31.587	
14.4	27.6	5	0.33	0.2	0.13	40.8	24.7	16.1	0.169256	0.170082	0.169669	0.000827	29.865	
13.84	27.6	Permanent strain (%) =						2.1					0.00081	30.702

Sequence No. = 13 Last 5 pulses of 100

13	41.4	1	0.466	0.301	0.165	57.6	37.2	20.4	0.261487	0.260536	0.261012	0.001273	29.253	
13.3	41.4	2	0.468	0.303	0.164	57.8	37.5	20.3	0.263492	0.262702	0.263097	0.001283	29.21	
14.1	41.4	3	0.469	0.303	0.166	58	37.4	20.6	0.261153	0.261869	0.261511	0.001275	29.356	
14	41.4	4	0.468	0.305	0.163	57.8	37.7	20.1	0.259983	0.258537	0.25926	0.001264	29.8	
14	41.4	5	0.469	0.304	0.165	58	37.6	20.4	0.259315	0.25987	0.259593	0.001266	29.716	
13.68	41.4	Permanent strain (%) =						2.2					0.0012722	29.467

Sequence No. = 14 Last 5 pulses of 100

12.8	55.2	1	0.596	0.404	0.192	73.6	49.9	23.7	0.351211	0.350325	0.350768	0.00171	29.194	
14.6	55.2	2	0.593	0.399	0.194	73.2	49.3	24	0.353383	0.355989	0.354686	0.001729	28.487	
14.1	55.2	3	0.596	0.405	0.191	73.6	50.1	23.6	0.350209	0.349825	0.350017	0.001707	29.329	
14.1	55.2	4	0.599	0.407	0.191	74	50.4	23.6	0.349875	0.350825	0.35035	0.001708	29.479	
13.3	55.2	5	0.596	0.403	0.193	73.6	49.8	23.8	0.350543	0.350825	0.350684	0.00171	29.138	
13.78	55.2	Permanent strain (%) =						2.3					0.0017128	29.1254

Sequence No. = 15 Last 5 pulses of 100

13.3	68.9	1	0.711	0.504	0.208	87.9	62.3	25.7	0.42924	0.429785	0.429512	0.002094	29.738	
13.7	68.9	2	0.71	0.501	0.209	87.7	61.9	25.8	0.432247	0.430618	0.431433	0.002104	29.438	
14.3	68.9	3	0.713	0.506	0.207	88.1	62.5	25.6	0.427903	0.428452	0.428178	0.002088	29.937	
14.2	68.9	4	0.711	0.503	0.209	87.9	62.1	25.8	0.427736	0.428119	0.427928	0.002086	29.783	
14.2	68.9	5	0.713	0.505	0.208	88.1	62.4	25.7	0.430409	0.430951	0.43068	0.0021	29.721	
13.94	68.9	Permanent strain (%) =						2.5					0.0020944	29.7234

PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATOLICA DEL ECUADOR

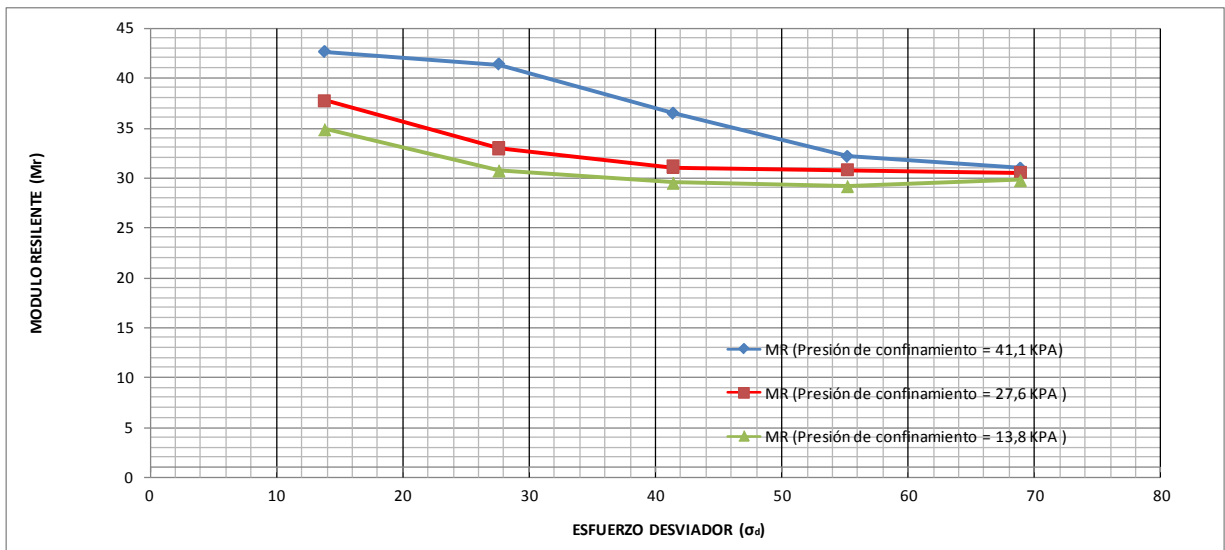
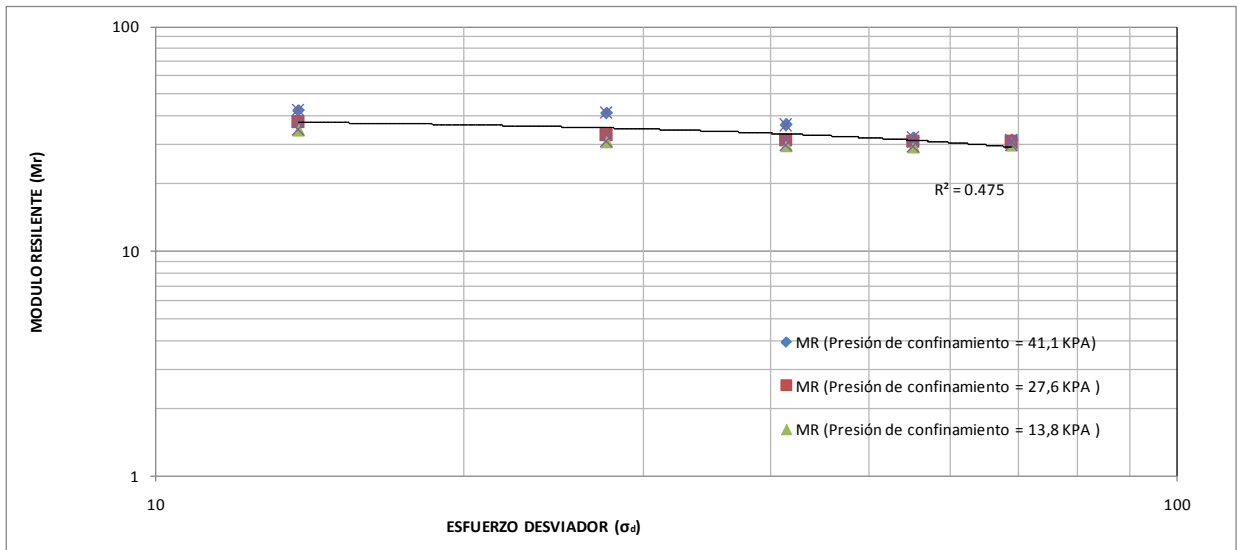
ENSAYO DE MODULO DE RESILIENCIA

SUELO CL + CaCl₂ **ABS:** 3+000
NORMA AASHTO T 307-99 (2007)

DATOS INICIALES

D SUPERIOR : 101.36 mm.	A SUPERIOR : 80.69 cm ² .	P MUESTRA : 3072.4 gr.
D MEDIO : 101.74 mm.	A MEDIO : 81.30 cm ² .	V MUESTRA : 1664.15 cm ³
D INFERIOR : 101.54 mm.	A INFERIOR : 80.98 cm ² .	γ HUMEDA : 1.846 gr/cm ³
H INICIAL : 205.09 mm.	A MEDIA : 81.14 cm ² .	γ SECA : 1.497 gr/cm ³

SECUENCIA N°	RESILIENT STRAIN Rr mm / mm	CYCLIC STRESS σd KPa	CELL PRESURE σ3 KPa	NÚMERO DE APLIC. DE CARGA	MÓDULO RESILIENTE Mr MPa	CONTENIDO DE HUMEDAD		
1	0.0002936	13.80	41.38	100	42.6			
2	0.0006004	27.60	41.50	100	41.4			
3	0.0010292	41.40	41.40	100	36.4			
4	0.0015556	55.20	41.40	100	32.1	Pcap. + sh.	57.63	gr
5	0.0020272	68.90	41.44	100	30.9	Pcap. + ss.	50.32	gr
6	0.0003278	13.80	27.60	100	37.7	Pcap.	18.96	gr
7	0.0007552	27.60	27.56	100	32.9	% Humedad	23.31	%
8	0.0012022	41.40	27.66	100	31.1			
9	0.0016192	55.20	27.64	100	30.8			
10	0.0020414	68.90	27.72	100	30.5			
11	0.000358	13.80	13.80	100	34.8			
12	0.000810	27.60	13.84	100	30.7			
13	0.001272	41.40	13.68	100	29.5			
14	0.001713	55.20	13.78	100	29.1			
15	0.002094	68.90	13.94	100	29.7			



Cyclic Triaxial Test

Sample number = Muestra 5

Material Type = MH ABS: 0+500

Specimen diameter (mm) = 101.1

Specimen height (mm) = 203.9

Confining stress kPa	Target max.ax. stress kPa	Cycle No.	Actual maximum load kN	Actual cyclic load kN	Actual contact load kN	Actual max.ax. stress kPa	Actual cyclic stress kPa	Actual contact stress kPa	Recov.Def. LVDT 1 mm	Recov.Def. LVDT 2 mm	Average Recov.Def. mm	Resilient strain mm/mm	Resilient modulus MPa
-------------------------	------------------------------	-----------	---------------------------	--------------------------	---------------------------	------------------------------	-----------------------------	------------------------------	-------------------------	-------------------------	--------------------------	---------------------------	--------------------------

Sequence No. = 1 Last 5 pulses of 100

41.8	13.8	1	0.193	0.099	0.094	24	12.4	11.7	0.023225	0.029818	0.026522	0.00013	95.009
41.6	13.8	2	0.191	0.099	0.093	23.8	12.3	11.5	0.020718	0.02682	0.023769	0.000117	105.154
41.6	13.8	3	0.193	0.1	0.093	24	12.5	11.5	0.023392	0.027986	0.025689	0.000126	99.169
41.4	13.8	4	0.193	0.101	0.092	24	12.6	11.4	0.021387	0.027819	0.024603	0.000121	104.061
40.5	13.8	5	0.193	0.1	0.093	24	12.4	11.6	0.022055	0.02682	0.024438	0.00012	103.727
41.38	13.8		Permanent strain (%) =					0.3				0.0001228	101.424

Sequence No. = 2 Last 5 pulses of 100

41.4	27.6	1	0.306	0.2	0.106	38.1	24.9	13.2	0.043609	0.05364	0.048624	0.000238	104.599
40.5	27.6	2	0.306	0.199	0.107	38.1	24.8	13.3	0.044444	0.054973	0.049708	0.000244	101.436
41.8	27.6	3	0.306	0.198	0.107	38.1	24.7	13.4	0.043943	0.055805	0.049874	0.000245	100.825
41.7	27.6	4	0.307	0.202	0.105	38.3	25.1	13.1	0.042941	0.052807	0.047874	0.000235	106.956
41.5	27.6	5	0.304	0.197	0.107	37.9	24.6	13.3	0.042105	0.053473	0.047789	0.000234	104.949
41.38	27.6		Permanent strain (%) =					0.3				0.0002392	103.753

Sequence No. = 3 Last 5 pulses of 100

40.4	41.4	1	0.42	0.299	0.121	52.3	37.2	15.1	0.063325	0.082126	0.072725	0.000357	104.195
42.1	41.4	2	0.415	0.294	0.121	51.7	36.7	15	0.065664	0.082625	0.074145	0.000364	100.739
41.8	41.4	3	0.423	0.302	0.121	52.7	37.6	15	0.063659	0.08046	0.072059	0.000353	106.601
41.4	41.4	4	0.461	0.34	0.122	57.5	42.3	15.1	0.063492	0.082292	0.072892	0.000357	118.599
40.4	41.4	5	0.415	0.293	0.122	51.7	36.5	15.2	0.062657	0.081792	0.072225	0.000354	103.041
41.22	41.4		Permanent strain (%) =					0.3				0.000357	106.635

Sequence No. = 4 Last 5 pulses of 100

41.9	55.2	1	0.525	0.396	0.129	65.4	49.3	16.1	0.083709	0.11311	0.09841	0.000483	102.088
41.8	55.2	2	0.529	0.403	0.127	65.9	50.2	15.8	0.082707	0.111278	0.096992	0.000476	105.406
41.4	55.2	3	0.529	0.402	0.127	65.9	50.1	15.8	0.083208	0.111278	0.097243	0.000477	105.085
40.4	55.2	4	0.528	0.399	0.129	65.7	49.7	16.1	0.083208	0.111944	0.097576	0.000478	103.96
42	55.2	5	0.525	0.396	0.128	65.4	49.4	16	0.085881	0.114943	0.100412	0.000492	100.318
41.5	55.2		Permanent strain (%) =					0.4				0.0004812	103.3714

Sequence No. = 5 Last 5 pulses of 100

41.7	68.9	1	0.633	0.496	0.137	78.8	61.8	17	0.101921	0.139097	0.120509	0.000591	104.575
41.4	68.9	2	0.633	0.498	0.135	78.8	62	16.8	0.103091	0.139763	0.121427	0.000595	104.195
40.7	68.9	3	0.634	0.498	0.137	79	62	17	0.102256	0.138931	0.120593	0.000591	104.9
41.7	68.9	4	0.627	0.493	0.134	78	61.4	16.7	0.104428	0.141263	0.122845	0.000602	101.945
41.6	68.9	5	0.631	0.499	0.132	78.6	62.2	16.4	0.101587	0.138264	0.119926	0.000588	105.762
41.42	68.9		Permanent strain (%) =					0.4				0.0005934	104.2754

Sequence No. = 6 Last 5 pulses of 100

27.8	13.8	1	0.204	0.1	0.104	25.4	12.4	12.9	0.023392	0.031318	0.027355	0.000134	92.89
27.7	13.8	2	0.204	0.099	0.105	25.4	12.4	13	0.023726	0.032151	0.027938	0.000137	90.154
26.9	13.8	3	0.207	0.101	0.105	25.8	12.6	13.1	0.023726	0.03265	0.028188	0.000138	91.59
28.1	13.8	4	0.205	0.099	0.106	25.6	12.4	13.2	0.024896	0.033816	0.029356	0.000144	85.772
27.9	13.8	5	0.204	0.101	0.103	25.4	12.5	12.8	0.022723	0.031984	0.027354	0.000134	93.607
27.68	13.8		Permanent strain (%) =					0.4				0.0001374	90.8026

Sequence No. = 7 Last 5 pulses of 100

27.9	27.6	1	0.315	0.201	0.113	39.2	25.1	14.1	0.046951	0.063302	0.055126	0.00027	92.914
26.6	27.6	2	0.313	0.197	0.116	39	24.6	14.5	0.046449	0.061303	0.053876	0.000264	93.023
27.5	27.6	3	0.315	0.197	0.118	39.2	24.5	14.7	0.04812	0.063968	0.056044	0.000275	89.127
28	27.6	4	0.316	0.202	0.114	39.4	25.2	14.2	0.047285	0.061969	0.054627	0.000268	93.966
28	27.6	5	0.315	0.2	0.115	39.2	24.9	14.3	0.046617	0.062635	0.054626	0.000268	92.89
27.6	27.6		Permanent strain (%) =					0.4				0.000269	92.384

Confining stress kPa	Target max. ax. stress kPa	Cycle No.	Actual maximum load kN	Actual cyclic load kN	Actual contact load kN	Actual max. ax. stress kPa	Actual cyclic stress kPa	Actual contact stress kPa	Recov.Def. LVDT 1 mm	Recov.Def. LVDT 2 mm	Average Recov.Def. mm	Resilient strain mm/mm	Resilient modulus MPa
-------------------------	-------------------------------	-----------	---------------------------	--------------------------	---------------------------	-------------------------------	-----------------------------	------------------------------	-------------------------	-------------------------	--------------------------	---------------------------	--------------------------

Sequence No. = 8 Last 5 pulses of 100

28	41.4	1	0.432	0.301	0.131	53.8	37.5	16.3	0.066834	0.093786	0.08031	0.000394	95.142
27.8	41.4	2	0.429	0.301	0.128	53.4	37.4	16	0.069674	0.094786	0.08223	0.000403	92.898
26.6	41.4	3	0.429	0.301	0.128	53.4	37.4	16	0.068505	0.094453	0.081479	0.0004	93.594
28.1	41.4	4	0.427	0.299	0.129	53.2	37.2	16.1	0.071345	0.096119	0.083732	0.000411	90.505
27.8	41.4	5	0.427	0.298	0.129	53.2	37.1	16.1	0.067168	0.093453	0.080311	0.000394	94.288
27.66	41.4											0.0004004	93.2854

Sequence No. = 9 Last 5 pulses of 100

28	55.2	1	0.529	0.399	0.13	65.9	49.7	16.2	0.08939	0.123605	0.106498	0.000522	95.197
28	55.2	2	0.534	0.399	0.135	66.5	49.7	16.8	0.088889	0.124105	0.106497	0.000522	95.289
27.9	55.2	3	0.532	0.4	0.132	66.3	49.8	16.5	0.089724	0.124105	0.106914	0.000524	95.109
26.6	55.2	4	0.537	0.4	0.137	66.9	49.8	17.1	0.088722	0.122272	0.105497	0.000517	96.396
27.9	55.2	5	0.532	0.394	0.138	66.3	49.1	17.2	0.091562	0.12577	0.108666	0.000533	92.15
27.68	55.2											0.0005236	94.8282

Sequence No. = 10 Last 5 pulses of 100

28	68.9	1	0.639	0.497	0.142	79.6	61.9	17.7	0.10944	0.15259	0.131015	0.000642	96.417
27.7	68.9	2	0.64	0.498	0.142	79.8	62.1	17.7	0.107101	0.147926	0.127514	0.000625	99.347
27.7	68.9	3	0.64	0.498	0.142	79.8	62.1	17.7	0.108271	0.149425	0.128848	0.000632	98.247
26.9	68.9	4	0.639	0.497	0.142	79.6	61.9	17.7	0.107101	0.148426	0.127763	0.000626	98.805
27.5	68.9	5	0.639	0.496	0.143	79.6	61.8	17.8	0.109607	0.151258	0.130433	0.00064	96.568
27.56	68.9											0.000633	97.8768

Sequence No. = 11 Last 5 pulses of 100

14	13.8	1	0.208	0.1	0.109	26	12.4	13.6	0.025397	0.036982	0.031189	0.000153	81.04
13.9	13.8	2	0.208	0.1	0.108	26	12.5	13.5	0.027068	0.037315	0.032191	0.000158	79.084
12.8	13.8	3	0.208	0.098	0.11	26	12.3	13.7	0.026399	0.037481	0.03194	0.000157	78.057
14.4	13.8	4	0.21	0.097	0.113	26.1	12.1	14	0.027235	0.038981	0.033108	0.000162	74.758
14.1	13.8	5	0.207	0.098	0.109	25.8	12.2	13.6	0.023559	0.035482	0.029521	0.000145	84.186
13.84	13.8											0.000155	79.425

Sequence No. = 12 Last 5 pulses of 100

14.1	27.6	1	0.324	0.199	0.125	40.4	24.8	15.5	0.051295	0.071797	0.061546	0.000302	82.273
14	27.6	2	0.324	0.199	0.125	40.4	24.8	15.6	0.053634	0.07263	0.063132	0.00031	79.84
14	27.6	3	0.5	0.283	0.217	62.3	35.2	27.1	0.051462	0.071131	0.061297	0.000301	117.034
13.7	27.6	4	0.319	0.196	0.124	39.8	24.4	15.4	0.050961	0.071964	0.061462	0.000301	80.95
12.9	27.6	5	0.323	0.196	0.127	40.2	24.4	15.8	0.051796	0.070631	0.061214	0.0003	81.219
13.74	27.6											0.0003028	88.2632

Sequence No. = 13 Last 5 pulses of 100

14.1	41.4	1	0.435	0.299	0.136	54.2	37.3	16.9	0.076692	0.108946	0.092819	0.000455	81.964
13.9	41.4	2	0.437	0.301	0.136	54.4	37.5	16.9	0.074854	0.106447	0.09065	0.000444	84.428
13.9	41.4	3	0.438	0.301	0.137	54.6	37.5	17.1	0.076358	0.105614	0.090986	0.000446	84.157
13.9	41.4	4	0.438	0.3	0.138	54.6	37.4	17.2	0.075689	0.105614	0.090652	0.000444	84.211
13.6	41.4	5	0.434	0.297	0.137	54	37	17	0.076023	0.10578	0.090902	0.000446	82.971
13.88	41.4											0.000447	83.5462

Sequence No. = 14 Last 5 pulses of 100

14.3	55.2	1	0.545	0.399	0.146	67.9	49.7	18.2	0.09741	0.135432	0.116421	0.000571	87.028
12.3	55.2	2	0.545	0.4	0.145	67.9	49.8	18.1	0.097243	0.135765	0.116504	0.000571	87.196
13.8	55.2	3	0.54	0.395	0.145	67.3	49.2	18.1	0.099415	0.139597	0.119506	0.000586	83.898
14.2	55.2	4	0.542	0.399	0.143	67.5	49.6	17.8	0.097744	0.137265	0.117505	0.000576	86.189
14.2	55.2	5	0.546	0.404	0.142	68.1	50.3	17.7	0.097577	0.135432	0.116505	0.000571	88.122
13.76	55.2											0.000575	86.4866

Sequence No. = 15 Last 5 pulses of 100

13.9	68.9	1	0.65	0.498	0.151	80.9	62.1	18.8	0.117794	0.162419	0.140107	0.000687	90.381
12.8	68.9	2	0.648	0.495	0.153	80.7	61.7	19	0.118296	0.163085	0.14069	0.00069	89.431
14.3	68.9	3	0.65	0.499	0.151	80.9	62.1	18.8	0.119298	0.16575	0.142524	0.000699	88.898
14.1	68.9	4	0.651	0.5	0.151	81.1	62.3	18.8	0.116291	0.160586	0.138439	0.000679	91.8
14.1	68.9	5	0.648	0.495	0.154	80.7	61.6	19.1	0.115957	0.16092	0.138438	0.000679	90.738
13.84	68.9											0.0006868	90.2496

PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATOLICA DEL ECUADOR

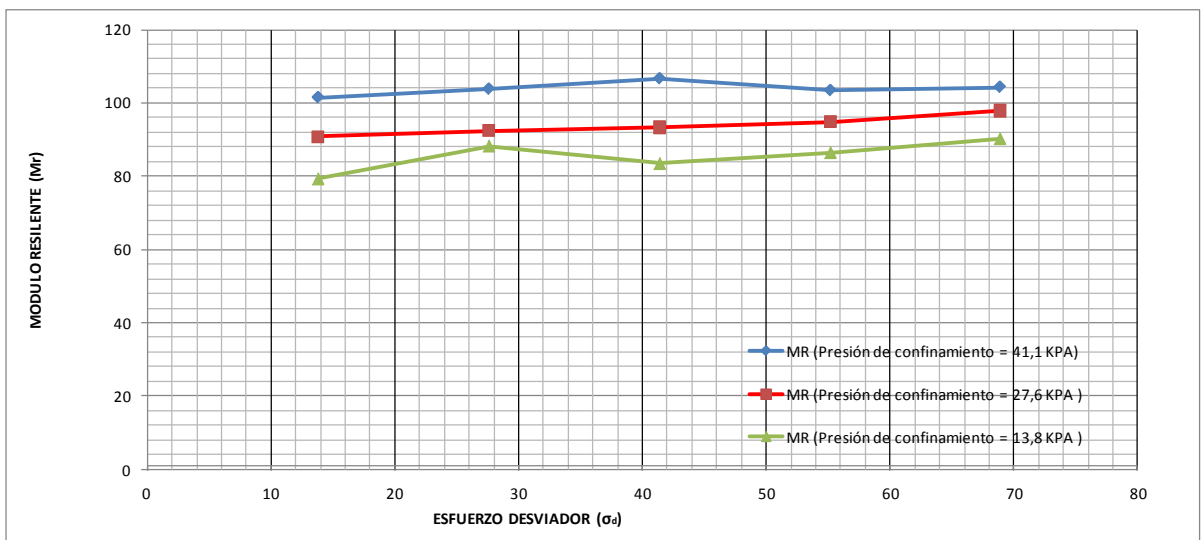
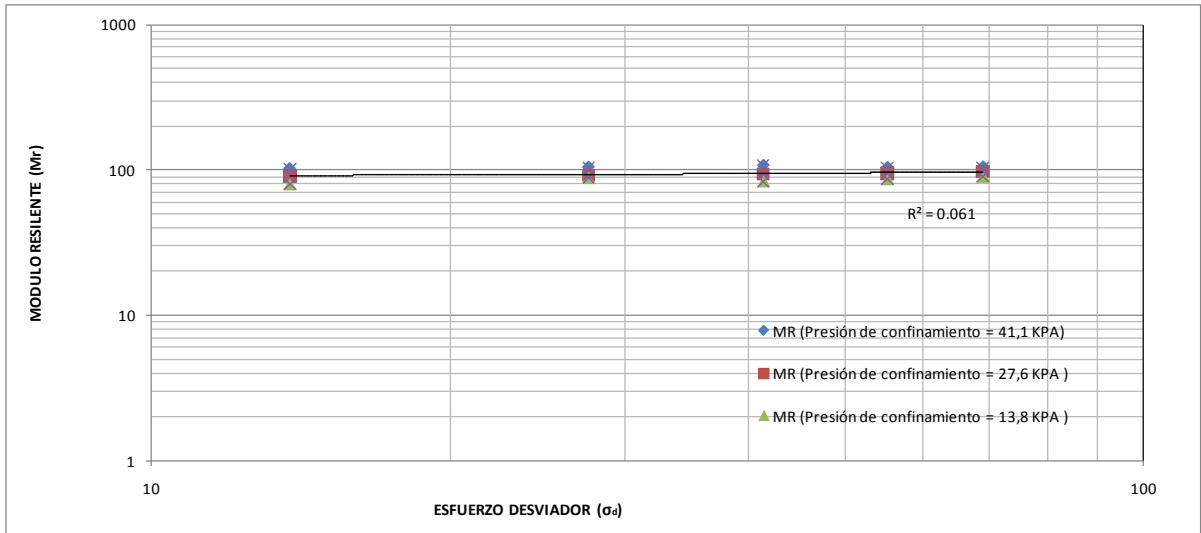
ENSAYO DE MODULO DE RESILIENCIA

SUELO MH **ABS:** 0+500
NORMA AASHTO T 307-99 (2007)

DATOS INICIALES

D SUPERIOR : 101.08 mm.	A SUPERIOR : 80.25 cm ² .	P MUESTRA : 3028.8 gr.
D MEDIO : 101.22 mm.	A MEDIO : 80.47 cm ² .	V MUESTRA : 1639.90 cm ³
D INFERIOR : 101.13 mm.	A INFERIOR : 80.32 cm ² .	γ HUMEDA : 1.847 gr/cm ³
H INICIAL : 203.95 mm.	A MEDIA : 80.41 cm ² .	γ SECA : 1.403 gr/cm ³

SECUENCIA N°	RESILIENT STRAIN Rr mm / mm	CYCLIC STRESS σd KPa	CELL PRESURE σ3 KPa	NÚMERO DE APLIC. DE CARGA	MÓDULO RESILIENTE Mr MPa	CONTENIDO DE HUMEDAD		
1	0.0001228	13.8	41.38	100	101.4			
2	0.0002392	27.6	41.38	100	103.8			
3	0.0003570	41.4	41.22	100	106.6			
4	0.0004812	55.2	41.5	100	103.4	Pcap. + sh.	32.88	gr
5	0.0005934	68.9	41.42	100	104.3	Pcap. + ss.	29.77	gr
6	0.000137	13.8	27.68	100	90.8	Pcap.	19.94	gr
7	0.000269	27.6	27.6	100	92.4	% Humedad	31.64	%
8	0.000400	41.4	27.66	100	93.3			
9	0.000524	55.2	27.68	100	94.8			
10	0.000633	68.9	27.56	100	97.9			
11	0.000155	13.8	13.84	100	79.4			
12	0.000303	27.6	13.74	100	88.3			
13	0.000447	41.4	13.88	100	83.5			
14	0.000575	55.2	13.76	100	86.5			
15	0.000687	68.9	13.84	100	90.2			



Cyclic Triaxial Test

Sample number = Muestra 6

Material Type = MH + CaCl2

ABS: 0+500

Specimen diameter (mm) = 101

Specimen height (mm) = 203.3

Confining stress kPa	Target max.ax. stress kPa	Cycle No.	Actual maximum load kN	Actual cyclic load kN	Actual contact load kN	Actual max.ax. stress kPa	Actual cyclic stress kPa	Actual contact stress kPa	Recov.Def. LVDT 1 mm	Recov.Def. LVDT 2 mm	Average Recov.Def. mm	Resilient strain mm/mm	Resilient modulus MPa
-------------------------	------------------------------	-----------	---------------------------	--------------------------	---------------------------	------------------------------	-----------------------------	------------------------------	-------------------------	-------------------------	--------------------------	---------------------------	--------------------------

Sequence No. = 1 Last 5 pulses of 100

41.5	13.8	1	0.25	0.103	0.147	31.2	12.9	18.3	0.039098	0.043978	0.041538	0.000204	63.261
40.4	13.8	2	0.25	0.102	0.148	31.2	12.7	18.5	0.038764	0.042479	0.040621	0.0002	63.563
42	13.8	3	0.247	0.098	0.149	30.8	12.2	18.6	0.040602	0.04581	0.043206	0.000213	57.197
41.8	13.8	4	0.247	0.1	0.147	30.8	12.4	18.4	0.037761	0.041979	0.03987	0.000196	63.386
41.5	13.8	5	0.245	0.098	0.147	30.6	12.3	18.3	0.039098	0.042979	0.041038	0.000202	60.788
41.44	13.8	Permanent strain (%) = 0.6										0.000203	61.639

Sequence No. = 2 Last 5 pulses of 100

41	27.6	1	0.369	0.199	0.17	46	24.8	21.2	0.079031	0.086124	0.082577	0.000406	61.082
41	27.6	2	0.372	0.199	0.173	46.4	24.8	21.6	0.082874	0.087623	0.085248	0.000419	59.302
41	27.6	3	0.369	0.196	0.173	46	24.4	21.6	0.080869	0.088622	0.084746	0.000417	58.547
42	27.6	4	0.369	0.198	0.171	46	24.7	21.3	0.080535	0.086957	0.083746	0.000412	59.959
41.8	27.6	5	0.369	0.2	0.169	46	24.9	21.1	0.080869	0.087623	0.084246	0.000414	60.251
41.36	27.6	Permanent strain (%) = 0.6										0.0004136	59.8282

Sequence No. = 3 Last 5 pulses of 100

41.8	41.4	1	0.486	0.3	0.186	60.7	37.4	23.3	0.127151	0.132101	0.129626	0.000638	58.645
41.2	41.4	2	0.486	0.299	0.188	60.7	37.3	23.4	0.126483	0.133766	0.130125	0.00064	58.236
40.9	41.4	3	0.486	0.298	0.188	60.7	37.2	23.5	0.128488	0.1341	0.131294	0.000646	57.621
40.9	41.4	4	0.486	0.297	0.189	60.7	37.1	23.5	0.129992	0.134766	0.132379	0.000651	57.03
42.2	41.4	5	0.483	0.298	0.185	60.3	37.2	23.1	0.127652	0.1341	0.130876	0.000644	57.725
41.4	41.4	Permanent strain (%) = 0.7										0.0006438	57.8514

Sequence No. = 4 Last 5 pulses of 100

41.3	55.2	1	0.605	0.402	0.203	75.5	50.2	25.3	0.177945	0.184908	0.181426	0.000892	56.306
40.5	55.2	2	0.602	0.397	0.205	75.1	49.5	25.6	0.178446	0.184574	0.18151	0.000893	55.434
42	55.2	3	0.6	0.398	0.203	74.9	49.6	25.3	0.179783	0.185407	0.182595	0.000898	55.286
41.8	55.2	4	0.603	0.4	0.203	75.3	50	25.3	0.177945	0.183741	0.180843	0.00089	56.162
41.3	55.2	5	0.602	0.4	0.202	75.1	49.9	25.2	0.176775	0.183075	0.179925	0.000885	56.37
41.38	55.2	Permanent strain (%) = 0.7										0.0008916	55.9116

Sequence No. = 5 Last 5 pulses of 100

41.5	68.9	1	0.741	0.496	0.245	92.5	61.9	30.6	0.224896	0.231551	0.228223	0.001123	55.101
40.4	68.9	2	0.744	0.499	0.245	92.8	62.3	30.5	0.226232	0.232384	0.229308	0.001128	55.24
42.1	68.9	3	0.742	0.5	0.242	92.6	62.4	30.2	0.227903	0.23405	0.230976	0.001136	54.936
41.8	68.9	4	0.742	0.5	0.243	92.6	62.4	30.3	0.222556	0.230218	0.226387	0.001114	55.978
41.3	68.9	5	0.739	0.495	0.244	92.3	61.8	30.4	0.225564	0.230551	0.228058	0.001122	55.107
41.42	68.9	Permanent strain (%) = 0.8										0.0011246	55.2724

Sequence No. = 6 Last 5 pulses of 100

27.8	13.8	1	0.301	0.101	0.2	37.6	12.6	25	0.039432	0.041812	0.040622	0.0002	62.841
27.8	13.8	2	0.299	0.099	0.2	37.4	12.4	25	0.040769	0.042146	0.041457	0.000204	60.665
27	13.8	3	0.302	0.101	0.202	37.8	12.6	25.2	0.040602	0.042645	0.041623	0.000205	61.308
27.1	13.8	4	0.299	0.097	0.203	37.4	12.1	25.3	0.04127	0.042645	0.041958	0.000206	58.673
28.1	13.8	5	0.301	0.1	0.201	37.6	12.5	25	0.041103	0.044145	0.042624	0.00021	59.619
27.56	13.8	Permanent strain (%) = 0.7										0.000205	60.6212

Sequence No. = 7 Last 5 pulses of 100

27.8	27.6	1	0.426	0.199	0.226	53.2	24.9	28.3	0.084043	0.088456	0.08625	0.000424	58.716
27.8	27.6	2	0.427	0.198	0.229	53.4	24.8	28.6	0.084043	0.086623	0.085333	0.00042	58.931
27.8	27.6	3	0.427	0.199	0.228	53.4	24.9	28.5	0.084211	0.087789	0.086	0.000423	58.855
26.8	27.6	4	0.427	0.199	0.228	53.4	24.9	28.5	0.084712	0.088123	0.086417	0.000425	58.578
27.9	27.6	5	0.424	0.194	0.23	53	24.3	28.7	0.086048	0.089455	0.087752	0.000432	56.18
27.62	27.6	Permanent strain (%) = 0.7										0.0004248	58.252

Confining stress	Target max.ax. stress	Cycle No.	Actual maximum load	Actual cyclic load	Actual contact load	Actual max.ax. stress	Actual cyclic stress	Actual contact stress	Recov.Def. LVDT 1	Recov.Def. LVDT 2	Average Recov.Def.	Resilient strain	Resilient modulus
kPa	kPa		kN	kN	kN	kPa	kPa	kPa	mm	mm	mm	mm/mm	MPa
Sequence No. = 8 Last 5 pulses of 100													
27.7	41.4	1	0.543	0.299	0.244	67.8	37.4	30.4	0.133333	0.137265	0.135299	0.000666	56.107
27.8	41.4	2	0.543	0.297	0.246	67.8	37.1	30.7	0.129156	0.134433	0.131795	0.000648	57.294
27.8	41.4	3	0.543	0.299	0.245	67.8	37.3	30.5	0.131161	0.134599	0.13288	0.000654	56.99
27.8	41.4	4	0.543	0.299	0.245	67.8	37.3	30.5	0.13066	0.134266	0.132463	0.000652	57.164
27.1	41.4	5	0.542	0.297	0.244	67.6	37.1	30.5	0.129825	0.134766	0.132295	0.000651	57.03
27.64	41.4	Permanent strain (%) =						0.8			0.0006542		56.917
Sequence No. = 9 Last 5 pulses of 100													
27.6	55.2	1	0.65	0.399	0.251	81.1	49.7	31.3	0.177778	0.184408	0.181093	0.000891	55.828
27.8	55.2	2	0.65	0.398	0.252	81.1	49.6	31.4	0.177444	0.182909	0.180176	0.000886	56.035
27.9	55.2	3	0.65	0.397	0.253	81.1	49.5	31.6	0.177444	0.183908	0.180676	0.000889	55.683
27.9	55.2	4	0.651	0.398	0.253	81.3	49.6	31.6	0.177945	0.184075	0.18101	0.00089	55.783
27.9	55.2	5	0.65	0.397	0.253	81.1	49.6	31.5	0.177109	0.184574	0.180842	0.00089	55.675
27.82	55.2	Permanent strain (%) =						0.8			0.0008892		55.8008
Sequence No. = 10 Last 5 pulses of 100													
27.1	68.9	1	0.772	0.502	0.269	96.3	62.7	33.6	0.234252	0.240213	0.237233	0.001167	53.725
27.2	68.9	2	0.77	0.502	0.268	96.1	62.6	33.5	0.233918	0.24088	0.237399	0.001168	53.637
28.1	68.9	3	0.769	0.499	0.269	95.9	62.3	33.6	0.233083	0.23938	0.236232	0.001162	53.624
27.9	68.9	4	0.769	0.5	0.269	95.9	62.4	33.6	0.231078	0.237048	0.234063	0.001151	54.178
27.9	68.9	5	0.767	0.498	0.269	95.7	62.2	33.5	0.232414	0.238048	0.235231	0.001157	53.773
27.64	68.9	Permanent strain (%) =						0.8			0.001161		53.7874
Sequence No. = 11 Last 5 pulses of 100													
14.3	13.8	1	0.319	0.1	0.22	39.9	12.5	27.4	0.041938	0.044978	0.043458	0.000214	58.28
14.3	13.8	2	0.319	0.101	0.219	39.9	12.6	27.3	0.041437	0.043978	0.042707	0.00021	59.849
14.2	13.8	3	0.323	0.1	0.222	40.3	12.5	27.7	0.041938	0.043478	0.042708	0.00021	59.619
12.7	13.8	4	0.321	0.1	0.221	40.1	12.5	27.5	0.040602	0.043312	0.041957	0.000206	60.777
13.6	13.8	5	0.323	0.099	0.223	40.3	12.4	27.9	0.043442	0.045311	0.044376	0.000218	56.769
13.82	13.8	Permanent strain (%) =						0.7			0.0002116		59.0588
Sequence No. = 12 Last 5 pulses of 100													
14.4	27.6	1	0.441	0.198	0.243	55.1	24.8	30.3	0.085714	0.089122	0.087418	0.00043	57.561
14.4	27.6	2	0.443	0.198	0.245	55.3	24.7	30.6	0.086884	0.089455	0.08817	0.000434	56.808
12.2	27.6	3	0.443	0.199	0.244	55.3	24.8	30.4	0.085881	0.090788	0.088335	0.000435	57.121
14.3	27.6	4	0.443	0.196	0.247	55.3	24.5	30.8	0.090058	0.094286	0.092172	0.000453	54.107
14	27.6	5	0.441	0.198	0.244	55.1	24.7	30.4	0.087385	0.090621	0.089003	0.000438	56.29
13.86	27.6	Permanent strain (%) =						0.8			0.000438		56.3774
Sequence No. = 13 Last 5 pulses of 100													
13.3	41.4	1	0.562	0.297	0.264	70.1	37.1	33	0.137009	0.141762	0.139386	0.000686	54.121
13.3	41.4	2	0.56	0.297	0.263	69.9	37.1	32.8	0.136341	0.14093	0.138635	0.000682	54.367
14.4	41.4	3	0.559	0.296	0.263	69.7	36.9	32.8	0.135505	0.141596	0.138551	0.000682	54.156
14.3	41.4	4	0.563	0.3	0.264	70.3	37.4	32.9	0.135673	0.139763	0.137718	0.000677	55.267
14.2	41.4	5	0.56	0.296	0.264	69.9	36.9	33	0.135505	0.141263	0.138384	0.000681	54.235
13.9	41.4	Permanent strain (%) =						0.8			0.0006816		54.4292
Sequence No. = 14 Last 5 pulses of 100													
13.9	55.2	1	0.676	0.398	0.278	84.4	49.7	34.7	0.184795	0.191238	0.188017	0.000925	53.724
13.9	55.2	2	0.677	0.4	0.278	84.6	49.9	34.7	0.185464	0.192237	0.18885	0.000929	53.7
13.8	55.2	3	0.677	0.399	0.278	84.6	49.8	34.7	0.184294	0.190405	0.187349	0.000922	54.056
13.4	55.2	4	0.676	0.398	0.278	84.4	49.7	34.7	0.185297	0.190405	0.187851	0.000924	53.782
13.4	55.2	5	0.679	0.4	0.279	84.8	50	34.8	0.186299	0.192737	0.189518	0.000932	53.631
13.68	55.2	Permanent strain (%) =						0.8			0.0009264		53.7786
Sequence No. = 15 Last 5 pulses of 100													
14.3	68.9	1	0.79	0.499	0.291	98.6	62.3	36.4	0.233417	0.239547	0.236482	0.001163	53.537
14.3	68.9	2	0.789	0.497	0.292	98.4	62	36.4	0.235756	0.242046	0.238901	0.001175	52.785
12.5	68.9	3	0.789	0.498	0.29	98.4	62.2	36.2	0.233584	0.240546	0.237065	0.001166	53.358
14.1	68.9	4	0.785	0.495	0.291	98	61.8	36.3	0.237761	0.243378	0.24057	0.001183	52.224
13.9	68.9	5	0.787	0.498	0.289	98.2	62.2	36.1	0.232916	0.240213	0.236564	0.001164	53.408
13.82	68.9	Permanent strain (%) =						0.8			0.0011702		53.0624

PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATOLICA DEL ECUADOR

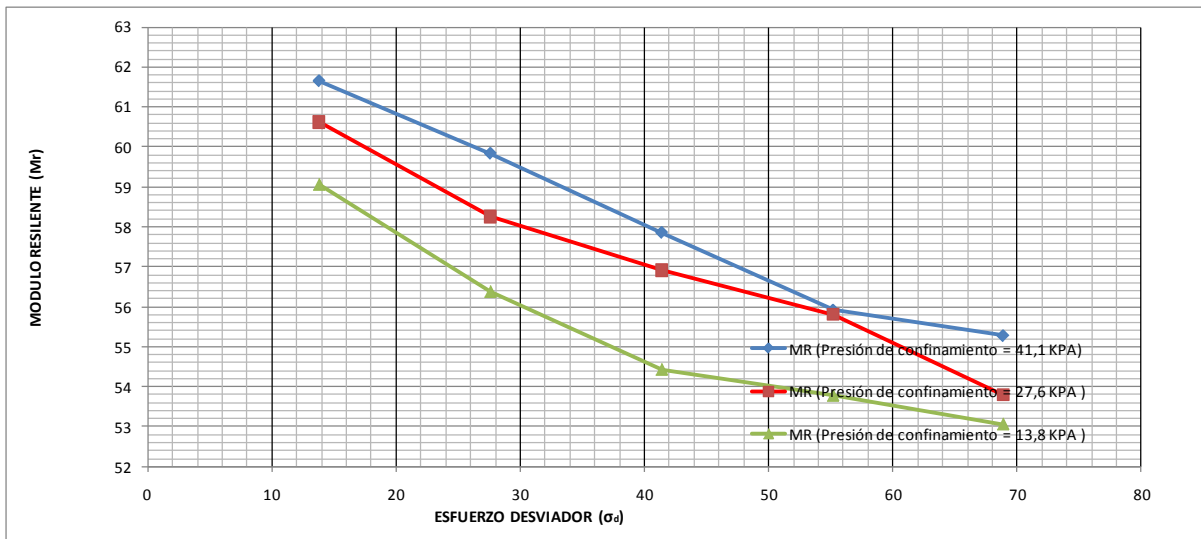
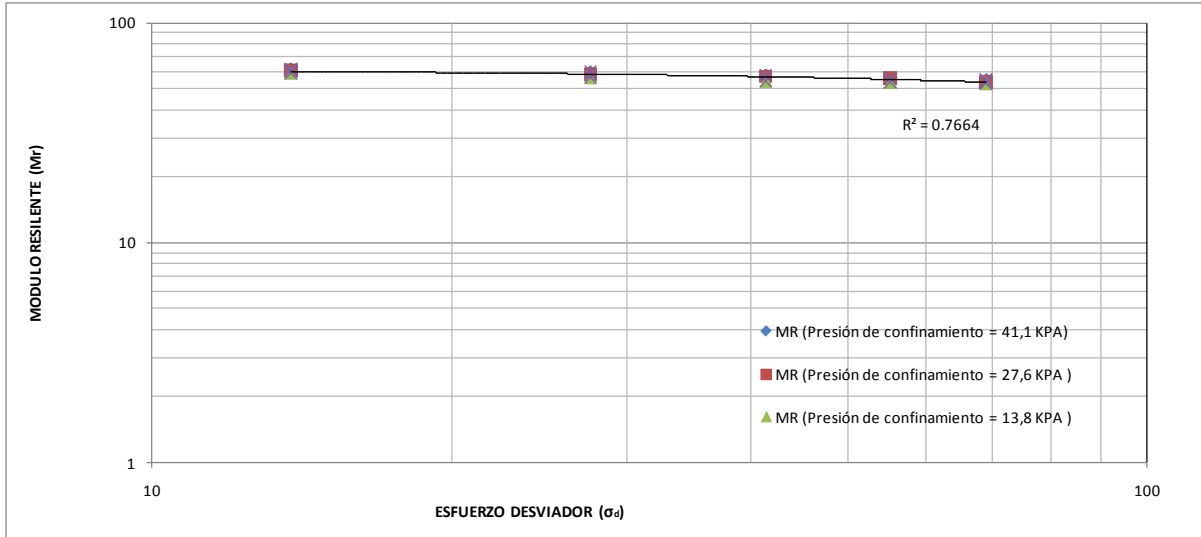
ENSAYO DE MODULO DE RESILIENCIA

SUELO MH + CaCl₂ **ABS:** 0+500
NORMA AASHTO T 307-99 (2007)

DATOS INICIALES

D SUPERIOR : 100.67 mm.	A SUPERIOR : 79.60 cm ² .	P MUESTRA : 2930.1 gr.
D MEDIO : 100.96 mm.	A MEDIO : 80.06 cm ² .	V MUESTRA : 1627.47 cm ³
D INFERIOR : 101.24 mm.	A INFERIOR : 80.50 cm ² .	γ HUMEDA : 1.800 gr/cm ³
H INICIAL : 203.3 mm.	A MEDIA : 80.05 cm ² .	γ SECA : 1.370 gr/cm ³

SECUENCIA N°	RESILIENT STRAIN Rr mm / mm	CYCLIC STRESS σd KPa	CELL PRESURE σ3 KPa	NÚMERO DE APLIC. DE CARGA	MÓDULO RESILIENTE Mr MPa	CONTENIDO DE HUMEDAD		
1	0.0002030	13.8	41.44	100	61.6			
2	0.0004136	27.6	41.36	100	59.8			
3	0.0006438	41.4	41.4	100	57.9			
4	0.0008916	55.2	41.38	100	55.9	Pcap. + sh.	42.81	gr
5	0.0011246	68.9	41.42	100	55.3	Pcap. + ss.	37.06	gr
6	0.000205	13.8	27.56	100	60.6	Pcap.	18.73	gr
7	0.000425	27.6	27.62	100	58.3	% Humedad	31.37	%
8	0.000654	41.4	27.64	100	56.9			
9	0.000889	55.2	27.82	100	55.8			
10	0.001161	68.9	27.64	100	53.8			
11	0.000212	13.8	13.82	100	59.1			
12	0.000438	27.6	13.86	100	56.4			
13	0.000682	41.4	13.9	100	54.4			
14	0.000926	55.2	13.68	100	53.8			
15	0.001170	68.9	13.82	100	53.1			



Cyclic Triaxial Test

Sample number = Muestra 7

Material Type = SC ABS: 1+500

Specimen diameter (mm) = 101.2

Specimen height (mm) = 204.4

Confining stress kPa	Target max.ax. stress kPa	Cycle No.	Actual maximum load kN	Actual cyclic load kN	Actual contact load kN	Actual max.ax. stress kPa	Actual cyclic stress kPa	Actual contact stress kPa	Recov.Def. LVDT 1 mm	Recov.Def. LVDT 2 mm	Average Recov.Def. mm	Resilient strain mm/mm	Resilient modulus MPa
-------------------------	------------------------------	-----------	---------------------------	--------------------------	---------------------------	------------------------------	-----------------------------	------------------------------	-------------------------	-------------------------	--------------------------	---------------------------	--------------------------

Sequence No. = 1 Last 5 pulses of 100

41.1	13.8	1	0.191	0.104	0.088	23.8	12.9	10.9	0.025397	0.021156	0.023276	0.000114	113.178	
42	13.8	2	0.187	0.101	0.086	23.2	12.5	10.7	0.025898	0.021822	0.02386	0.000117	106.996	
41.4	13.8	3	0.184	0.098	0.086	22.8	12.1	10.7	0.023559	0.021156	0.022357	0.000109	111.329	
40.8	13.8	4	0.185	0.099	0.086	23	12.3	10.7	0.025397	0.022322	0.023859	0.000117	105.357	
42	13.8	5	0.187	0.099	0.088	23.2	12.3	10.9	0.026232	0.022655	0.024444	0.00012	102.723	
41.46	13.8	Permanent strain (%) =						0.1					0.0001154	107.9166

Sequence No. = 2 Last 5 pulses of 100

41	27.6	1	0.298	0.201	0.097	37	25	12	0.048454	0.043978	0.046216	0.000226	110.572	
41.9	27.6	2	0.295	0.198	0.096	36.6	24.7	12	0.04929	0.044145	0.046717	0.000229	107.657	
41.3	27.6	3	0.296	0.2	0.096	36.8	24.9	11.9	0.046951	0.042979	0.044965	0.00022	113.151	
41	27.6	4	0.296	0.199	0.097	36.8	24.7	12.1	0.049123	0.044478	0.0468	0.000229	108.076	
41.8	27.6	5	0.298	0.201	0.097	37	25	12	0.048287	0.042979	0.045633	0.000223	112.059	
41.4	27.6	Permanent strain (%) =						0.1					0.0002254	110.303

Sequence No. = 3 Last 5 pulses of 100

41.5	41.4	1	0.403	0.301	0.102	50.1	37.4	12.7	0.068003	0.067633	0.067818	0.000332	112.542	
41.7	41.4	2	0.404	0.301	0.103	50.3	37.4	12.9	0.06817	0.0673	0.067735	0.000331	113.027	
41.2	41.4	3	0.401	0.298	0.103	49.9	37.1	12.8	0.0665	0.066633	0.066566	0.000326	113.73	
41.1	41.4	4	0.401	0.297	0.104	49.9	36.9	13	0.06817	0.068133	0.068152	0.000333	110.907	
41.6	41.4	5	0.403	0.301	0.102	50.1	37.4	12.7	0.067836	0.066633	0.067235	0.000329	113.568	
41.42	41.4	Permanent strain (%) =						0.2					0.0003302	112.7548

Sequence No. = 4 Last 5 pulses of 100

41.2	55.2	1	0.502	0.396	0.105	62.4	49.3	13.1	0.087719	0.09312	0.09042	0.000442	111.445	
42	55.2	2	0.505	0.401	0.104	62.7	49.8	12.9	0.088722	0.091454	0.090088	0.000441	113.003	
41.4	55.2	3	0.505	0.402	0.103	62.7	50	12.8	0.086383	0.090621	0.088502	0.000433	115.423	
40.8	55.2	4	0.503	0.399	0.104	62.5	49.6	13	0.089056	0.091787	0.090422	0.000442	112.205	
42	55.2	5	0.505	0.401	0.103	62.7	49.9	12.9	0.089724	0.09312	0.091422	0.000447	111.594	
41.48	55.2	Permanent strain (%) =						0.2					0.000441	112.734

Sequence No. = 5 Last 5 pulses of 100

41.9	68.9	1	0.603	0.495	0.108	75	61.6	13.4	0.108772	0.116608	0.11269	0.000551	111.771	
41.5	68.9	2	0.611	0.502	0.11	76	62.4	13.6	0.1066	0.113943	0.110271	0.000539	115.683	
41.2	68.9	3	0.606	0.497	0.11	75.4	61.7	13.7	0.110276	0.115276	0.112776	0.000552	111.829	
41	68.9	4	0.611	0.5	0.111	76	62.2	13.8	0.108605	0.115442	0.112024	0.000548	113.52	
42	68.9	5	0.608	0.5	0.108	75.6	62.2	13.4	0.109774	0.116608	0.113191	0.000554	112.204	
41.52	68.9	Permanent strain (%) =						0.2					0.0005488	113.0014

Sequence No. = 6 Last 5 pulses of 100

27.5	13.8	1	0.185	0.096	0.089	23	11.9	11.1	0.027903	0.026653	0.027278	0.000133	89.797	
27.4	13.8	2	0.188	0.102	0.086	23.4	12.7	10.7	0.027569	0.026653	0.027111	0.000133	95.206	
28	13.8	3	0.188	0.1	0.088	23.4	12.5	10.9	0.027569	0.02682	0.027194	0.000133	93.764	
27.4	13.8	4	0.188	0.101	0.087	23.4	12.6	10.8	0.026734	0.026154	0.026444	0.000129	97.415	
27.3	13.8	5	0.188	0.099	0.09	23.4	12.3	11.1	0.027235	0.025654	0.026444	0.000129	95.184	
27.52	13.8	Permanent strain (%) =						0.2					0.0001314	94.2732

Sequence No. = 7 Last 5 pulses of 100

27.4	27.6	1	0.298	0.199	0.099	37	24.7	12.3	0.051629	0.054806	0.053218	0.00026	95.19	
28.3	27.6	2	0.298	0.201	0.097	37	24.9	12.1	0.052464	0.052474	0.052469	0.000257	97.048	
27.6	27.6	3	0.298	0.199	0.099	37	24.7	12.3	0.051295	0.051807	0.051551	0.000252	98.021	
27.1	27.6	4	0.298	0.199	0.099	37	24.7	12.3	0.051128	0.053973	0.05255	0.000257	96.301	
27.5	27.6	5	0.296	0.197	0.099	36.8	24.5	12.3	0.053634	0.054306	0.05397	0.000264	92.839	
27.58	27.6	Permanent strain (%) =						0.2					0.000258	95.8798

Confining stress	Target max.ax. stress	Cycle No.	Actual maximum load	Actual cyclic load	Actual contact load	Actual max.ax. stress	Actual cyclic stress	Actual contact stress	Recov.Def. LVDT 1	Recov.Def. LVDT 2	Average Recov.Def.	Resilient strain	Resilient modulus
kPa	kPa		kN	kN	kN	kPa	kPa	kPa	mm	mm	mm	mm/mm	MPa
Sequence No. = 8 Last 5 pulses of 100													
27.5	41.4	1	0.406	0.299	0.107	50.5	37.1	13.3	0.07452	0.079294	0.076907	0.000376	98.734
27.2	41.4	2	0.404	0.298	0.106	50.3	37	13.2	0.076692	0.079627	0.078159	0.000382	96.932
28	41.4	3	0.406	0.3	0.106	50.5	37.3	13.2	0.076023	0.079793	0.077908	0.000381	97.816
27.7	41.4	4	0.409	0.303	0.106	50.8	37.7	13.1	0.073684	0.078961	0.076322	0.000373	101.071
27.5	41.4	5	0.403	0.297	0.106	50.1	36.9	13.2	0.074854	0.077961	0.076407	0.000374	98.621
27.58	41.4	Permanent strain (%) =						0.2				0.0003772	98.6348
Sequence No. = 9 Last 5 pulses of 100													
28.1	55.2	1	0.505	0.399	0.106	62.7	49.5	13.2	0.098747	0.104448	0.101597	0.000497	99.691
27.5	55.2	2	0.508	0.401	0.107	63.1	49.8	13.3	0.095906	0.102615	0.099261	0.000486	102.54
27.2	55.2	3	0.505	0.399	0.106	62.7	49.6	13.1	0.098914	0.103282	0.101098	0.000495	100.191
27.6	55.2	4	0.505	0.399	0.106	62.7	49.5	13.2	0.097744	0.104281	0.101013	0.000494	100.297
27.7	55.2	5	0.508	0.402	0.106	63.1	50	13.1	0.096909	0.103615	0.100262	0.000491	101.789
27.62	55.2	Permanent strain (%) =						0.2				0.0004926	100.9016
Sequence No. = 10 Last 5 pulses of 100													
27.5	68.9	1	0.616	0.502	0.114	76.6	62.4	14.2	0.117794	0.12727	0.122532	0.000599	104.095
27.1	68.9	2	0.608	0.494	0.114	75.6	61.4	14.1	0.120301	0.12627	0.123285	0.000603	101.893
28.3	68.9	3	0.608	0.497	0.111	75.6	61.8	13.8	0.120969	0.128936	0.124952	0.000611	101.109
27.6	68.9	4	0.613	0.501	0.111	76.2	62.3	13.9	0.117627	0.126437	0.122032	0.000597	104.364
27	68.9	5	0.617	0.505	0.113	76.7	62.7	14	0.119967	0.126437	0.123202	0.000603	104.041
27.5	68.9	Permanent strain (%) =						0.2				0.0006026	103.1004
Sequence No. = 11 Last 5 pulses of 100													
13.6	13.8	1	0.19	0.099	0.091	23.6	12.3	11.3	0.037093	0.035316	0.036204	0.000177	69.371
13.4	13.8	2	0.191	0.1	0.091	23.8	12.5	11.3	0.037761	0.035482	0.036622	0.000179	69.668
14.6	13.8	3	0.191	0.1	0.091	23.8	12.5	11.3	0.03726	0.035982	0.036621	0.000179	69.668
13.8	13.8	4	0.191	0.102	0.089	23.8	12.7	11.1	0.034754	0.03415	0.034452	0.000169	75.21
13.3	13.8	5	0.191	0.101	0.091	23.8	12.5	11.3	0.037761	0.036482	0.037121	0.000182	68.783
13.74	13.8	Permanent strain (%) =						0.2				0.0001772	70.54
Sequence No. = 12 Last 5 pulses of 100													
13.6	27.6	1	0.309	0.203	0.105	38.4	25.3	13.1	0.06249	0.063468	0.062979	0.000308	82.068
13.6	27.6	2	0.306	0.199	0.106	38	24.8	13.2	0.062155	0.065134	0.063645	0.000311	79.734
14.1	27.6	3	0.307	0.201	0.106	38.2	25	13.1	0.064495	0.065634	0.065064	0.000318	78.733
13.6	27.6	4	0.304	0.199	0.105	37.8	24.7	13.1	0.06132	0.062635	0.061978	0.000303	81.523
13.3	27.6	5	0.307	0.198	0.109	38.2	24.6	13.6	0.064327	0.0658	0.065064	0.000318	77.376
13.64	27.6	Permanent strain (%) =						0.2				0.0003116	79.8868
Sequence No. = 13 Last 5 pulses of 100													
13.6	41.4	1	0.409	0.294	0.115	50.8	36.5	14.3	0.087719	0.092454	0.090087	0.000441	82.768
13.4	41.4	2	0.414	0.298	0.115	51.4	37.1	14.3	0.087719	0.092454	0.090087	0.000441	84.073
14.5	41.4	3	0.415	0.302	0.113	51.6	37.6	14	0.089724	0.095619	0.092672	0.000453	83.01
13.8	41.4	4	0.418	0.304	0.114	52	37.8	14.1	0.085881	0.090955	0.088418	0.000433	87.398
13.3	41.4	5	0.414	0.299	0.114	51.4	37.2	14.2	0.089223	0.09262	0.090922	0.000445	83.64
13.72	41.4	Permanent strain (%) =						0.2				0.0004426	84.1778
Sequence No. = 14 Last 5 pulses of 100													
13.9	55.2	1	0.546	0.415	0.132	67.9	51.6	16.4	0.227068	0.243212	0.23514	0.00115	44.836
13.5	55.2	2	0.523	0.403	0.12	65	50.1	14.9	0.12147	0.128269	0.12487	0.000611	82.033
14	55.2	3	0.52	0.4	0.12	64.7	49.8	14.9	0.113952	0.122772	0.118362	0.000579	85.987
13.8	55.2	4	0.52	0.404	0.117	64.7	50.2	14.5	0.111947	0.120773	0.11636	0.000569	88.173
13.7	55.2	5	0.691	0.574	0.118	86	71.3	14.6	0.113283	0.120606	0.116945	0.000572	124.689
13.78	55.2	Permanent strain (%) =						0.2				0.0006962	85.3976667
Sequence No. = 15 Last 5 pulses of 100													
13.6	68.9	1	0.602	0.481	0.12	74.8	59.9	15	0.130994	0.141263	0.136128	0.000666	89.878
13.6	68.9	2	0.614	0.492	0.122	76.4	61.2	15.2	0.131161	0.141596	0.136379	0.000667	91.757
14.5	68.9	3	0.617	0.498	0.119	76.7	62	14.8	0.134336	0.144261	0.139299	0.000681	90.998
13.8	68.9	4	0.619	0.496	0.123	76.9	61.7	15.3	0.130326	0.14043	0.135378	0.000662	93.175
13.3	68.9	5	0.614	0.493	0.121	76.4	61.3	15.1	0.134002	0.144261	0.139131	0.000681	90.011
13.76	68.9	Permanent strain (%) =						0.2				0.0006714	91.1638

PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATOLICA DEL ECUADOR

ENSAYO DE MODULO DE RESILIENCIA

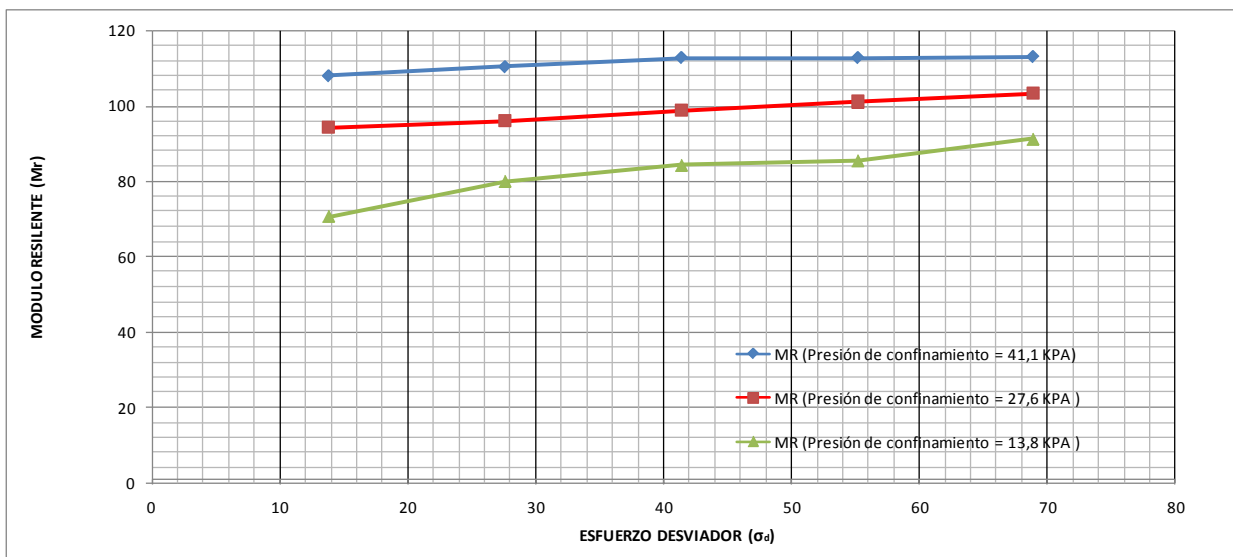
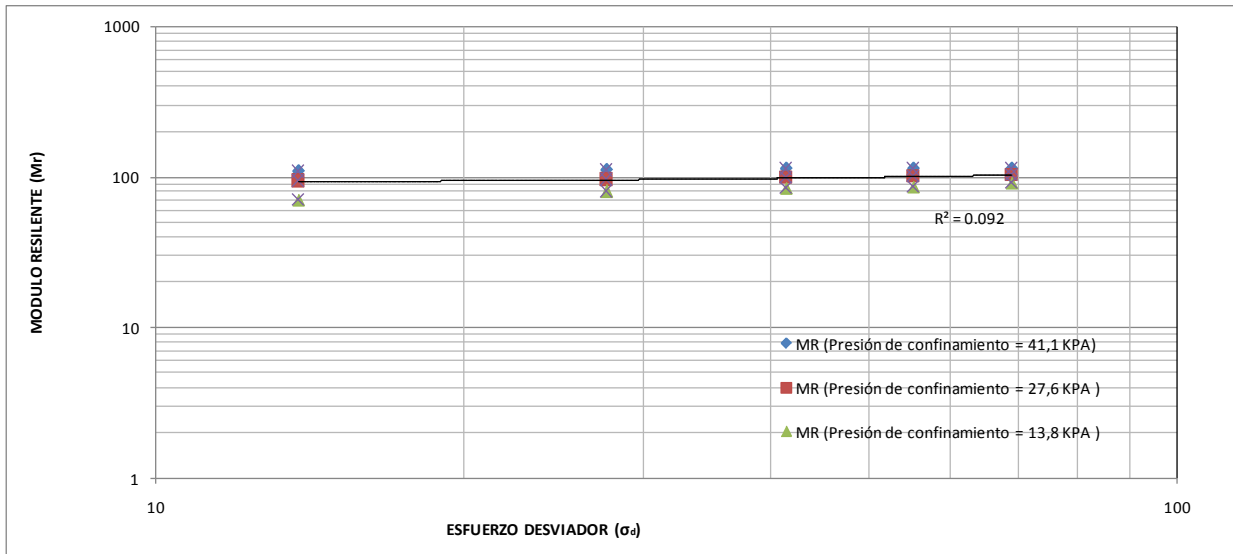
SUELO SC **ABS:** 1+500

NORMA AASHTO T 307-99 (2007)

DATOS INICIALES

D SUPERIOR : 101.04 mm.	A SUPERIOR : 80.18 cm ² .	P MUESTRA : 3174.2 gr.
D MEDIO : 101.15 mm.	A MEDIO : 80.36 cm ² .	V MUESTRA : 1641.58 cm ³
D INFERIOR : 101.33 mm.	A INFERIOR : 80.64 cm ² .	γ HUMEDA : 1.934 gr/cm ³
H INICIAL : 204.24 mm.	A MEDIA : 80.38 cm ² .	γ SECA : 1.556 gr/cm ³

SECUENCIA N°	RESILIENT STRAIN Rr mm / mm	CYCLIC STRESS σd KPa	CELL PRESURE σ3 KPa	NÚMERO DE APLIC. DE CARGA	MÓDULO RESILIENTE Mr MPa	CONTENIDO DE HUMEDAD		
1	0.0001154	13.80	41.46	100	107.9			
2	0.0002254	27.60	41.40	100	110.3			
3	0.0003302	41.40	41.42	100	112.8			
4	0.0004410	55.20	41.48	100	112.7	Pcap. + sh.	31.92	gr
5	0.0005488	68.90	41.52	100	113.0	Pcap. + ss.	29.26	gr
6	0.0001314	13.80	27.52	100	94.3	Pcap.	18.31	gr
7	0.0002580	27.60	27.58	100	95.9	% Humedad	24.29	%
8	0.0003772	41.40	27.58	100	98.6			
9	0.0004926	55.20	27.62	100	100.9			
10	0.0006026	68.90	27.50	100	103.1			
11	0.000177	13.80	13.74	100	70.5			
12	0.000312	27.60	13.64	100	79.9			
13	0.000443	41.40	13.72	100	84.2			
14	0.000696	55.20	13.78	100	85.4			
15	0.000671	68.90	13.76	100	91.2			



Cyclic Triaxial Test

Sample number = Muestra 8

Material Type = SC + CaCl2

ABS: 1+500

Specimen diameter (mm) = 101

Specimen height (mm) = 204.2

Confining stress	Target max.ax. stress	Cycle No.	Actual maximum load	Actual cyclic load	Actual contact load	Actual max.ax. stress	Actual cyclic stress	Actual contact stress	Recov.Def. LVDT 1	Recov.Def. LVDT 2	Average Recov.Def.	Resilient strain	Resilient modulus
kPa	kPa		kN	kN	kN	kPa	kPa	kPa	mm	mm	mm	mm/mm	MPa
Sequence No. = 1 Last 5 pulses of 100													
40.5	13.8	1	0.153	0.099	0.054	19.1	12.3	6.7	0.022556	0.028153	0.025354	0.000124	99.415
41.9	13.8	2	0.154	0.101	0.053	19.3	12.6	6.6	0.025063	0.029485	0.027274	0.000134	94.152
41.7	13.8	3	0.151	0.099	0.052	18.9	12.4	6.5	0.021721	0.026653	0.024187	0.000118	104.878
41.4	13.8	4	0.15	0.099	0.051	18.7	12.3	6.4	0.023726	0.028486	0.026106	0.000128	96.308
40.5	13.8	5	0.154	0.1	0.054	19.3	12.5	6.7	0.023392	0.02732	0.025356	0.000124	100.968
41.2	13.8	Permanent strain (%) =						0.1	0.000125699.1442				
Sequence No. = 2 Last 5 pulses of 100													
41.7	27.6	1	0.261	0.199	0.061	32.6	24.9	7.7	0.043442	0.050142	0.046792	0.000229	108.714
41.6	27.6	2	0.264	0.201	0.063	32.9	25.1	7.8	0.044277	0.051308	0.047793	0.000234	107.215
40.4	27.6	3	0.265	0.202	0.064	33.1	25.2	7.9	0.044612	0.051974	0.048293	0.000236	106.714
42	27.6	4	0.261	0.198	0.062	32.6	24.8	7.8	0.045948	0.053307	0.049627	0.000243	101.857
41.8	27.6	5	0.259	0.195	0.064	32.4	24.3	8	0.042607	0.049309	0.045958	0.000225	108.079
41.5	27.6	Permanent strain (%) =						0.1	0.0002334106.5158				
Sequence No. = 3 Last 5 pulses of 100													
42	41.4	1	0.369	0.297	0.072	46	37	9	0.069674	0.077295	0.073484	0.00036	102.862
41.8	41.4	2	0.369	0.299	0.069	46	37.4	8.7	0.065497	0.07363	0.069563	0.000341	109.582
41.5	41.4	3	0.372	0.302	0.07	46.4	37.7	8.8	0.067502	0.074463	0.070982	0.000348	108.208
40.6	41.4	4	0.372	0.299	0.073	46.4	37.3	9.1	0.067168	0.074629	0.070899	0.000347	107.41
40.6	41.4	5	0.372	0.299	0.073	46.4	37.3	9.1	0.067168	0.074629	0.070899	0.000347	107.41
41.3	41.4	Permanent strain (%) =						0.1	0.0003486107.0944				
Sequence No. = 4 Last 5 pulses of 100													
41.2	55.2	1	0.469	0.399	0.071	58.6	49.7	8.8	0.091562	0.099117	0.09534	0.000467	106.516
40.8	55.2	2	0.468	0.395	0.072	58.4	49.4	9	0.092063	0.09995	0.096007	0.00047	105.017
41.3	55.2	3	0.471	0.398	0.073	58.7	49.6	9.1	0.092063	0.09995	0.096007	0.00047	105.631
41.7	55.2	4	0.469	0.397	0.072	58.6	49.6	9	0.091729	0.099284	0.095507	0.000468	105.877
41.7	55.2	5	0.471	0.397	0.073	58.7	49.6	9.1	0.090894	0.098951	0.094922	0.000465	106.664
41.34	55.2	Permanent strain (%) =						0.1	0.000468105.941				
Sequence No. = 5 Last 5 pulses of 100													
41.7	68.9	1	0.573	0.497	0.076	71.5	62	9.5	0.113952	0.123605	0.118778	0.000582	106.485
41.6	68.9	2	0.574	0.497	0.077	71.7	62.1	9.6	0.116625	0.123438	0.120032	0.000588	105.562
40.4	68.9	3	0.576	0.5	0.076	71.8	62.4	9.5	0.115288	0.122939	0.119113	0.000583	106.963
42	68.9	4	0.569	0.492	0.078	71.1	61.4	9.7	0.118463	0.12577	0.122117	0.000598	102.669
41.7	68.9	5	0.577	0.5	0.078	72	62.4	9.7	0.114119	0.122772	0.118445	0.00058	107.516
41.48	68.9	Permanent strain (%) =						0.2	0.0005862105.839				
Sequence No. = 6 Last 5 pulses of 100													
28	13.8	1	0.151	0.096	0.055	18.9	12	6.8	0.027402	0.031984	0.029693	0.000145	83.024
28	13.8	2	0.153	0.101	0.051	19.1	12.7	6.4	0.027235	0.030818	0.029026	0.000142	89.187
26.5	13.8	3	0.156	0.102	0.054	19.5	12.7	6.7	0.027736	0.032317	0.030027	0.000147	86.481
28.1	13.8	4	0.153	0.098	0.054	19.1	12.3	6.8	0.030075	0.034316	0.032196	0.000158	77.717
27.8	13.8	5	0.153	0.101	0.052	19.1	12.6	6.5	0.027068	0.030818	0.028943	0.000142	88.508
27.68	13.8	Permanent strain (%) =						0.2	0.000146884.9834				
Sequence No. = 7 Last 5 pulses of 100													
26.9	27.6	1	0.264	0.195	0.069	32.9	24.4	8.6	0.050125	0.057305	0.053715	0.000263	92.646
28.2	27.6	2	0.265	0.196	0.069	33.1	24.5	8.7	0.050794	0.057138	0.053966	0.000264	92.66
27.9	27.6	3	0.267	0.2	0.067	33.3	24.9	8.4	0.050627	0.057138	0.053882	0.000264	94.484
27.9	27.6	4	0.267	0.198	0.069	33.3	24.8	8.6	0.049624	0.056638	0.053131	0.00026	95.197
26.5	27.6	5	0.269	0.201	0.068	33.5	25.1	8.4	0.050459	0.056805	0.053632	0.000263	95.393
27.48	27.6	Permanent strain (%) =						0.2	0.000262894.076				

Confining stress kPa	Target max.ax. stress kPa	Cycle No.	Actual maximum load kN	Actual cyclic load kN	Actual contact load kN	Actual max.ax. stress kPa	Actual cyclic stress kPa	Actual contact stress kPa	Recov.Def. LVDT 1 mm	Recov.Def. LVDT 2 mm	Average Recov.Def. mm	Resilient strain mm/mm	Resilient modulus MPa
Sequence No. = 8 Last 5 pulses of 100													
27.8	41.4	1	0.375	0.298	0.077	46.8	37.2	9.6	0.074854	0.082292	0.078573	0.000385	96.683
26.7	41.4	2	0.375	0.298	0.077	46.8	37.2	9.6	0.074185	0.08096	0.077572	0.00038	97.955
27.9	41.4	3	0.378	0.3	0.078	47.2	37.4	9.8	0.076525	0.085124	0.080824	0.000396	94.484
27.8	41.4	4	0.377	0.299	0.078	47	37.3	9.7	0.074353	0.081126	0.077739	0.000381	97.951
27.8	41.4	5	0.377	0.3	0.077	47	37.4	9.6	0.074185	0.082459	0.078322	0.000384	97.437
27.6	41.4											0.0003852	96.902
Sequence No. = 9 Last 5 pulses of 100													
28.1	55.2	1	0.505	0.399	0.106	62.7	49.5	13.2	0.098747	0.104448	0.101597	0.000497	99.691
27.5	55.2	2	0.508	0.401	0.107	63.1	49.8	13.3	0.095906	0.102615	0.099261	0.000486	102.54
27.2	55.2	3	0.505	0.399	0.106	62.7	49.6	13.1	0.098914	0.103282	0.101098	0.000495	100.191
27.6	55.2	4	0.505	0.399	0.106	62.7	49.5	13.2	0.097744	0.104281	0.101013	0.000494	100.297
27.7	55.2	5	0.508	0.402	0.106	63.1	50	13.1	0.096909	0.103615	0.100262	0.000491	101.789
27.62	55.2											0.0004926	100.9016
Sequence No. = 10 Last 5 pulses of 100													
27.8	68.9	1	0.582	0.497	0.085	72.6	62	10.6	0.122139	0.129935	0.126037	0.000617	100.522
27.8	68.9	2	0.58	0.497	0.084	72.4	62	10.4	0.123141	0.130102	0.126621	0.00062	99.958
27.8	68.9	3	0.582	0.496	0.086	72.6	61.9	10.7	0.12264	0.130102	0.126371	0.000619	99.964
26.9	68.9	4	0.583	0.499	0.084	72.8	62.3	10.5	0.123141	0.131434	0.127288	0.000623	100.018
27.3	68.9	5	0.58	0.495	0.086	72.4	61.7	10.7	0.124979	0.132101	0.12854	0.000629	98.145
27.52	68.9											0.0006216	99.7214
Sequence No. = 11 Last 5 pulses of 100													
14.2	13.8	1	0.156	0.097	0.059	19.5	12.1	7.3	0.035589	0.040646	0.038118	0.000187	64.892
13.5	13.8	2	0.159	0.1	0.059	19.8	12.4	7.4	0.034085	0.038814	0.03645	0.000178	69.796
13.3	13.8	3	0.16	0.101	0.059	20	12.7	7.4	0.03609	0.040147	0.038118	0.000187	67.725
13.2	13.8	4	0.157	0.096	0.061	19.6	12	7.6	0.036257	0.039314	0.037785	0.000185	65.073
14.4	13.8	5	0.157	0.098	0.06	19.6	12.2	7.5	0.035756	0.04048	0.038118	0.000187	65.15
13.72	13.8											0.0001848	66.5272
Sequence No. = 12 Last 5 pulses of 100													
14.3	27.6	1	0.276	0.201	0.075	34.5	25.1	9.4	0.058981	0.0658	0.062391	0.000306	81.988
14.3	27.6	2	0.278	0.202	0.076	34.7	25.2	9.4	0.060317	0.066967	0.063642	0.000312	80.874
13.5	27.6	3	0.273	0.199	0.074	34.1	24.8	9.3	0.059816	0.066134	0.062975	0.000308	80.517
13.3	27.6	4	0.272	0.195	0.077	33.9	24.3	9.6	0.06132	0.068133	0.064726	0.000317	76.712
13.1	27.6	5	0.88	0.804	0.076	109.8	100.3	9.5	0.06015	0.067799	0.063975	0.000313	320.463
13.7	27.6											0.0003112	80.02275
Sequence No. = 13 Last 5 pulses of 100													
14.3	41.4	1	0.378	0.293	0.085	47.2	36.6	10.6	0.087552	0.094453	0.091002	0.000446	82.056
14	41.4	2	0.38	0.297	0.082	47.4	37.1	10.3	0.084879	0.093287	0.089083	0.000436	85.153
14	41.4	3	0.381	0.297	0.084	47.6	37.1	10.5	0.085213	0.091787	0.0885	0.000433	85.632
13.8	41.4	4	0.384	0.301	0.084	48	37.5	10.4	0.085046	0.092454	0.08875	0.000435	86.234
12.9	41.4	5	0.383	0.298	0.084	47.8	37.2	10.5	0.084879	0.09262	0.08875	0.000435	85.57
13.8	41.4											0.000437	84.929
Sequence No. = 14 Last 5 pulses of 100													
14.7	55.2	1	0.486	0.399	0.087	60.7	49.8	10.8	0.111278	0.120773	0.116026	0.000568	87.745
14.4	55.2	2	0.488	0.401	0.086	60.9	50.1	10.8	0.107602	0.115609	0.111606	0.000547	91.554
14.4	55.2	3	0.488	0.399	0.089	60.9	49.7	11.1	0.110944	0.118607	0.114776	0.000562	88.511
12.3	55.2	4	0.489	0.4	0.089	61.1	49.9	11.1	0.108271	0.116942	0.112606	0.000551	90.627
14	55.2	5	0.485	0.396	0.089	60.5	49.4	11.1	0.113784	0.121106	0.117445	0.000575	85.923
13.96	55.2											0.0005606	90.2306667
Sequence No. = 15 Last 5 pulses of 100													
13.2	68.9	1	0.585	0.492	0.093	73	61.4	11.6	0.136174	0.145094	0.140634	0.000689	89.109
13.2	68.9	2	0.59	0.495	0.095	73.6	61.8	11.8	0.135505	0.142929	0.139217	0.000682	90.589
14.7	68.9	3	0.588	0.494	0.094	73.4	61.6	11.7	0.136675	0.144594	0.140635	0.000689	89.459
14.4	68.9	4	0.596	0.503	0.093	74.3	62.7	11.6	0.133333	0.141762	0.137548	0.000674	93.093
14.4	68.9	5	0.591	0.497	0.094	73.8	62.1	11.7	0.13467	0.142762	0.138716	0.000679	91.415
13.98	68.9											0.0006826	90.733

PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATOLICA DEL ECUADOR

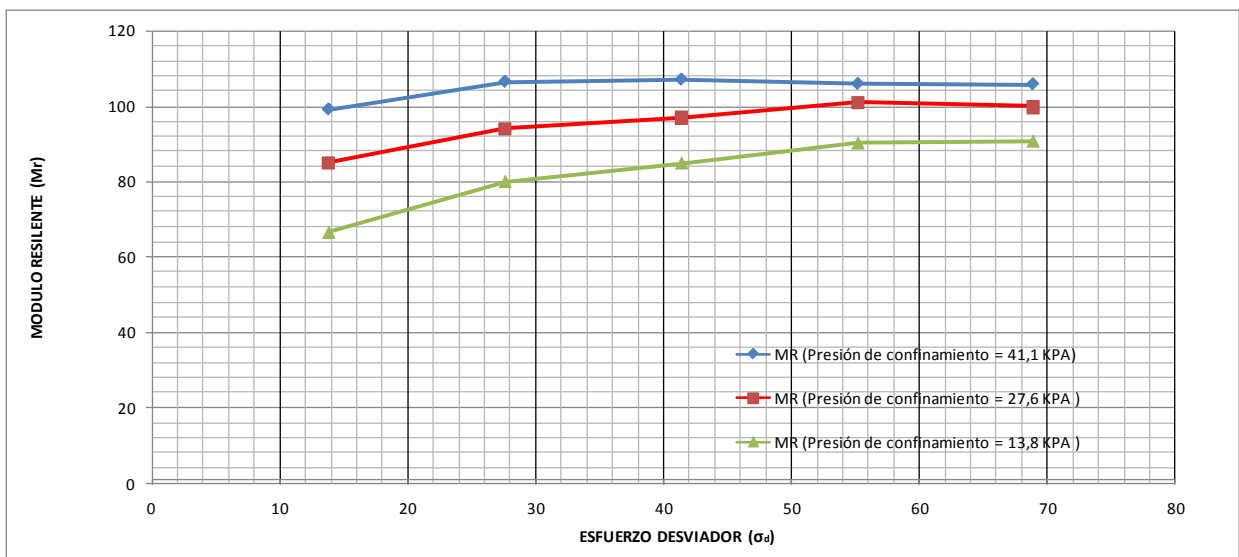
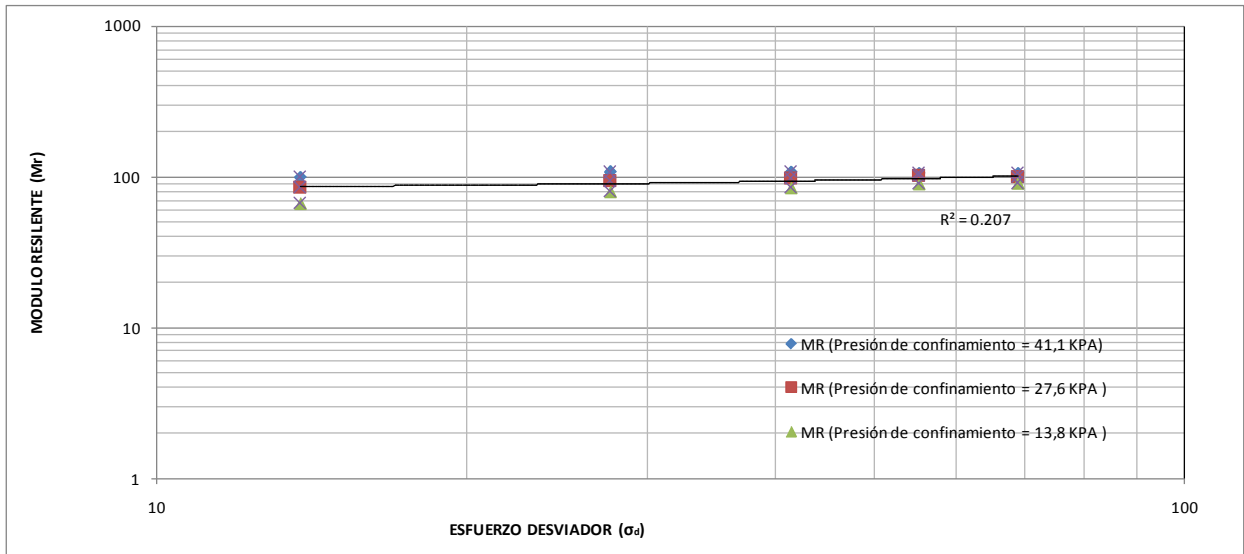
ENSAYO DE MODULO DE RESILIENCIA

SUELO SC + CaCl₂ **ABS:** 1+500
NORMA AASHTO T 307-99 (2007)

DATOS INICIALES

D SUPERIOR : 101.04 mm.	A SUPERIOR : 80.18 cm ² .	P MUESTRA : 3174.2 gr.
D MEDIO : 101.15 mm.	A MEDIO : 80.36 cm ² .	V MUESTRA : 1641.02 cm ³
D INFERIOR : 101.33 mm.	A INFERIOR : 80.64 cm ² .	γ HUMEDA : 1.934 gr/cm ³
H INICIAL : 204.17 mm.	A MEDIA : 80.38 cm ² .	γ SECA : 1.563 gr/cm ³

SECUENCIA N°	RESILIENT STRAIN Rr mm / mm	CYCLIC STRESS σd KPa	CELL PRESURE σ3 KPa	NÚMERO DE APLIC. DE CARGA	MÓDULO RESILIENTE Mr MPa	CONTENIDO DE HUMEDAD		
1	0.0001256	13.80	41.20	100	99.1			
2	0.0002334	27.60	41.50	100	106.5			
3	0.0003486	41.40	41.30	100	107.1			
4	0.0004680	55.20	41.34	100	105.9	Pcap. + sh.	32.16	gr
5	0.0005862	68.90	41.48	100	105.8	Pcap. + ss.	29.54	gr
6	0.0001468	13.80	27.68	100	85.0	Pcap.	18.50	gr
7	0.0002628	27.60	27.48	100	94.1	% Humedad	23.73	%
8	0.0003852	41.40	27.60	100	96.9			
9	0.0004926	55.20	27.62	100	100.9			
10	0.0006216	68.90	27.52	100	99.7			
11	0.000185	13.80	13.72	100	66.5			
12	0.000311	27.60	13.70	100	80.0			
13	0.000437	41.40	13.80	100	84.9			
14	0.000561	55.20	13.96	100	90.2			
15	0.000683	68.90	13.98	100	90.7			



CAPÍTULO 4

ANÁLISIS DE RESULTADOS

4.1 Análisis de los resultados de los ensayos realizados al suelo natural

TABLA A.1

										CLASIFICACIÓN		Gravedad Específica	Humedad Óptima (%)	Densidad Seca Máxima (g/cm3)	CBR 0.1"	CBR 0.2"	Mr (Mpa)	Mr f(CBR) (Mpa)	
Muestra	Abs	% H	LL	LP	IP	%G	%A	%F	SUCS	AASHTO	SHELL							HEUKELOM	
1	0+000	22	37	25	12	10	47	43	SC	A-6 (2)	2.59								
2	0+500	51	86	44	42	1	4	95	MH	A-7.5 (51)	2.49	31.25	1.402	1.02	1.02	90.00	10.55	13.00	
3	1+000	26	57	37	20	13	43	44	SC	A-7.5 (5)	2.52								
4	1+500	35	50	35	14	0	53	47	SC	A-7.5 (4)	2.49	23.00	1.576	15.50	16.00	96.00	165.47	172.60	
5	2+000	21	34	26	8	0	65	35	SC	A-2.4 (0)	2.57								
6	2+500	30	86	33	53	0	5	95	CH	A-7.5 (60)	2.36	28.70	1.401	1.95	2.35	110.00	24.30	29.96	
7	3+000	23	33	24	19	1	16	84	CL	A-6 (14)	2.54	22.55	1.553	4.20	4.97	50.00	51.40	63.36	
8	3+500	26	34	21	13	0	42	58	CL	A-6 (5)	2.58								

4.2 Análisis Comparativo de los Efectos de la Estabilización del suelo

TABLA A.2

% Absorción													
		# Golpes (0%)			# Golpes (0.5%)			# Golpes (1%)			# Golpes (1.5%)		
Muestra	Abs	SUCS	56	25	11	56	25	11	56	25	11	56	25
2	0+500	MH	7.44	12.51	16.76	7.58	10.15	16.34	6.62	9.48	14.54	6.21	8.84
4	1+500	SC	2.64	5.40	9.67	3.93	6.22	10.29	3.31	6.15	10.77	3.03	6.60
6	2+500	CH	3.91	6.91	7.97	7.85	12.50	18.29	6.82	11.70	16.83	6.36	11.64
7	3+000	CL	1.08	2.02	3.54	0.95	1.42	4.14	1.41	2.23	5.03	0.95	1.52

TABLA A.3

CBR 0.1"										CBR 0.2"									
		%CacI2					%CacI2					Mr		Mr %CacI2		Mr f(CBR) (Mpa)			
Muestra	Abs	LL	IP	SUCS	0	0.5	1	1.5	2	0	0.5	1	1.5	2	(Mpa)	(Mpa)	SHELL	HEUKELOM	
2	0+500	86	42	MH	1.02	1.68	1.67	1.80	1.67	1.02	1.56	1.65	1.70	2.00	90.00	60.00	18.62	22.95	
4	1+500	50	14	SC	15.5	8.45	13.00	14.10	9.80	16.00	8.45	12.00	12.40	9.50	96.00	88.00	145.82	152.1	
6	2+500	86	53	CH	1.95	1.93	1.55	1.45	1.05	2.35	2.26	1.78	1.50	0.94	110.00	150.00	15.51	19.12	
7	3+000	33	19	CL	4.20	4.35	5.24	3.90	3.60	4.97	5.10	5.65	4.46	4.07	50.00	36.00	46.13	56.86	

GRÁFICO B.1

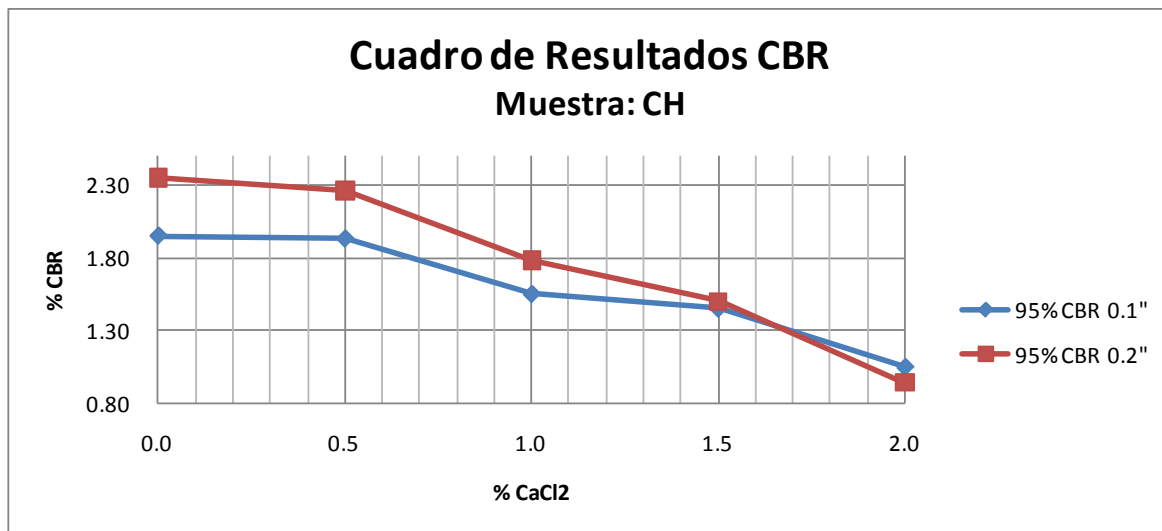


GRÁFICO B.2

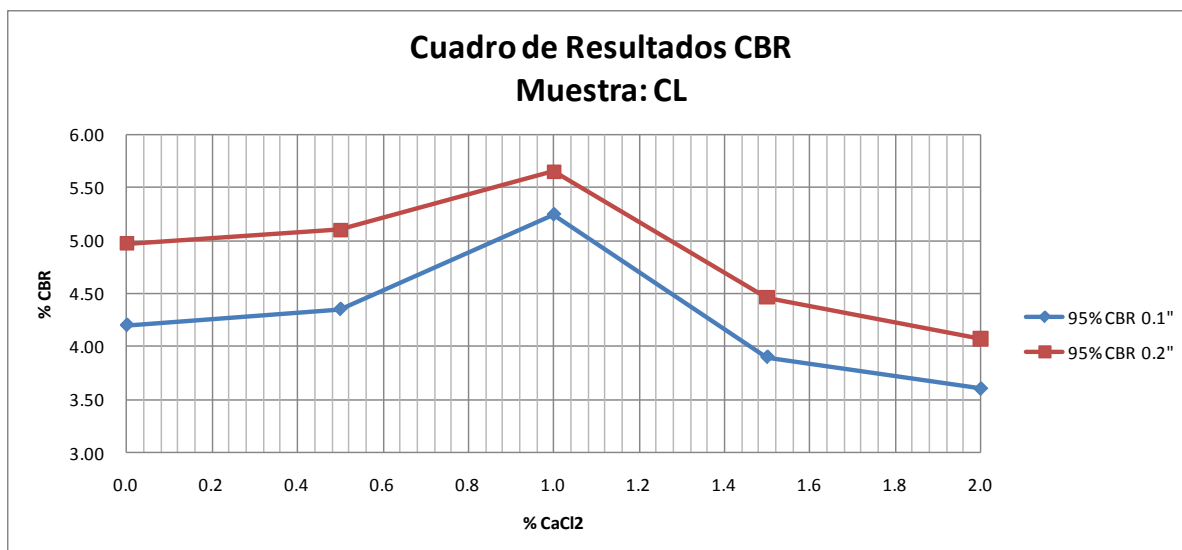


GRÁFICO B.3

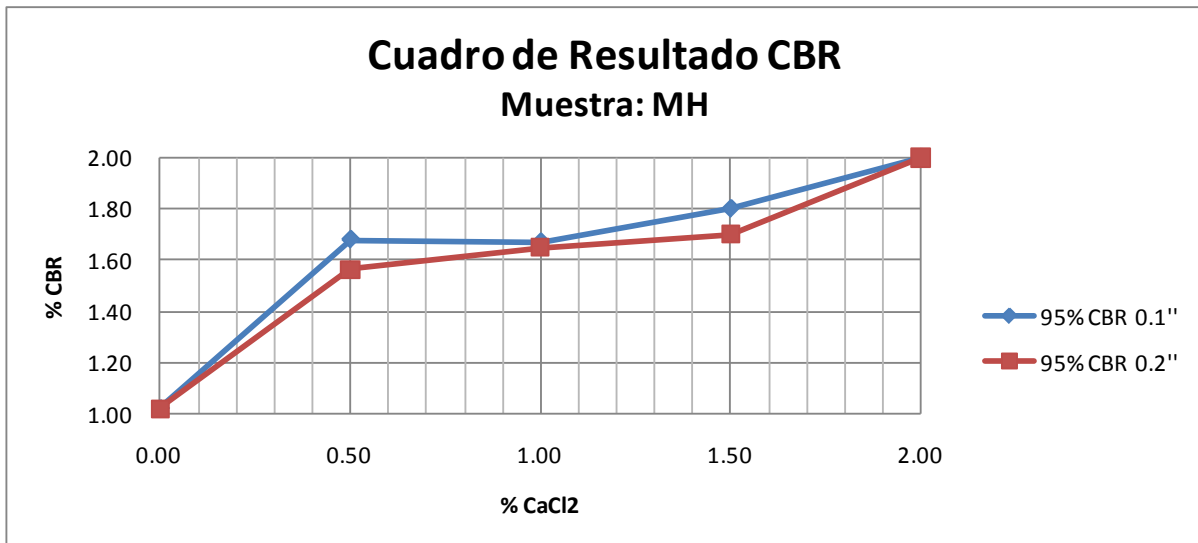


GRÁFICO B.4

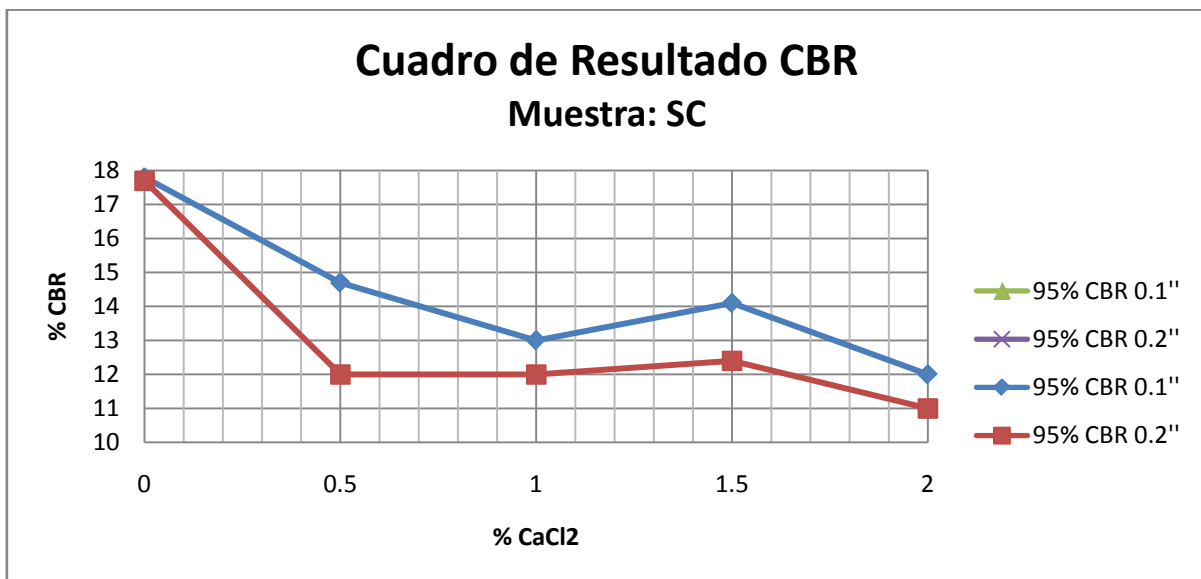


GRÁFICO B.5

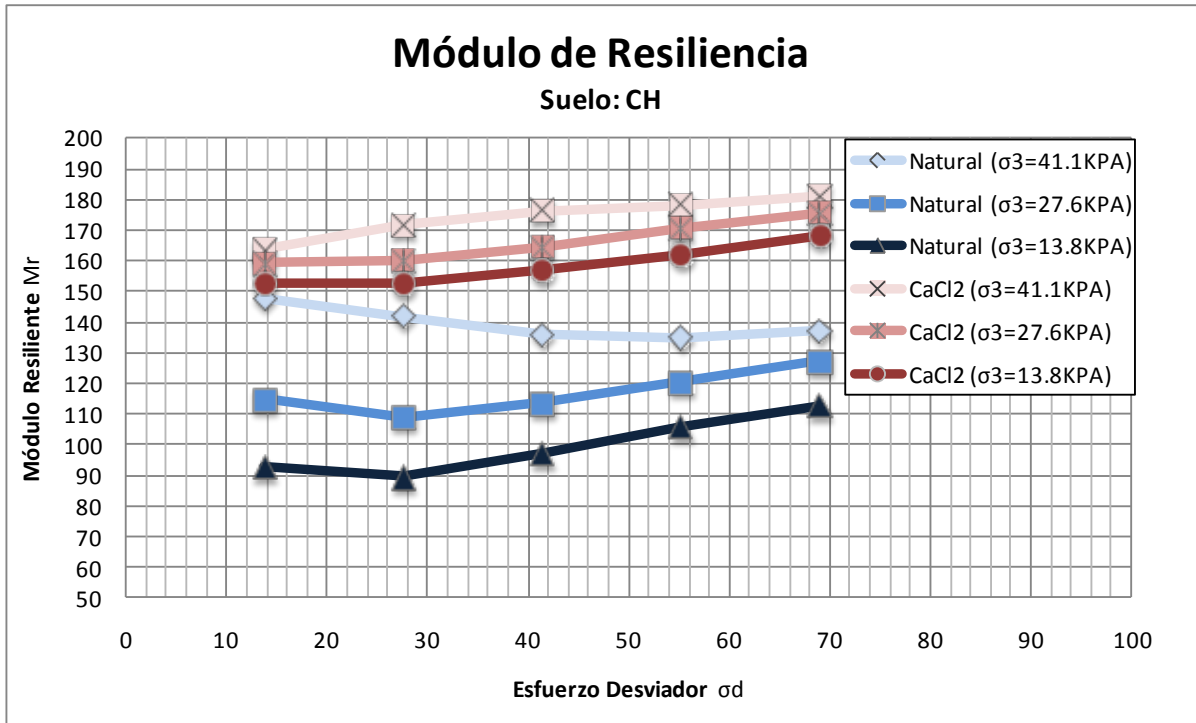


GRÁFICO B.6

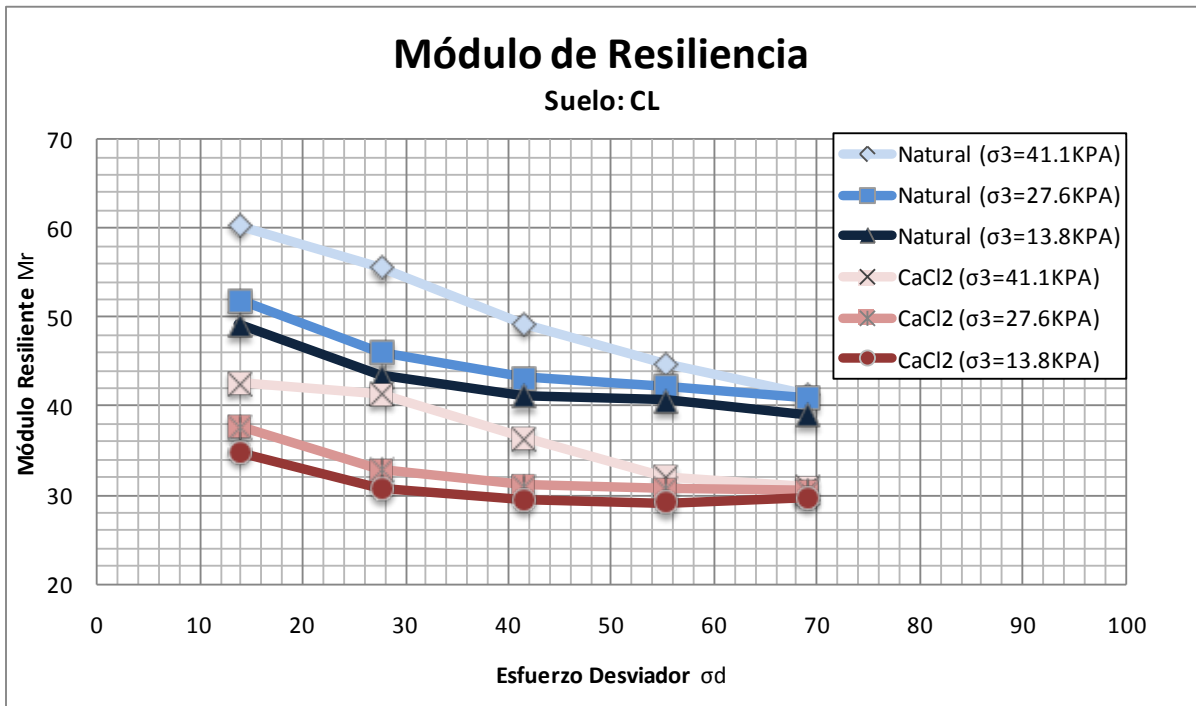


GRÁFICO B.7

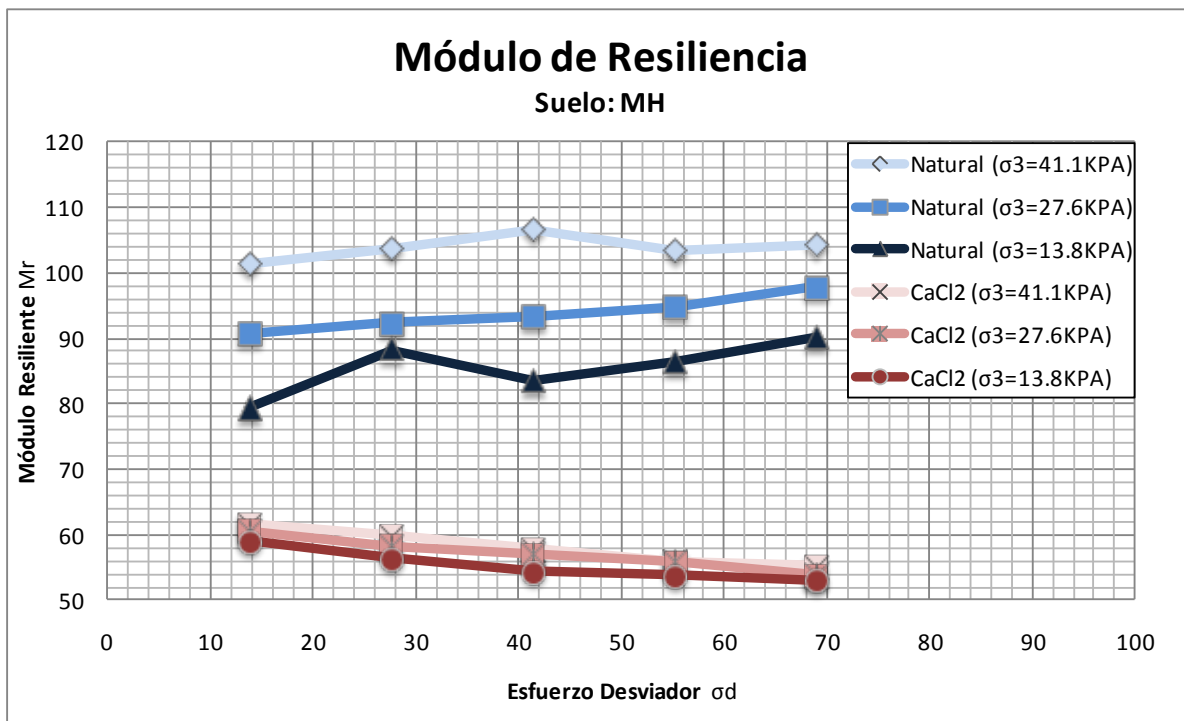
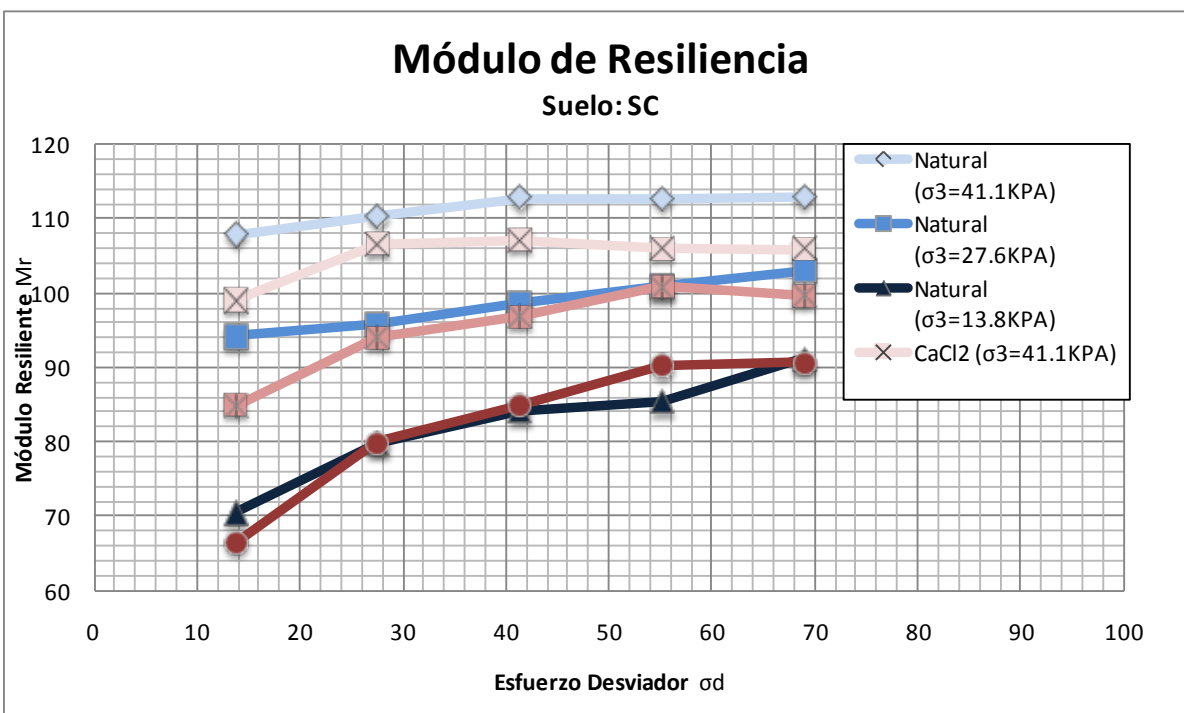


GRÁFICO B.8



A continuación se realizará un breve ejemplo de cómo analizar un suelo fino para conocer su consistencia utilizando el Módulo de Resiliencia.

GRÁFICO B.9: SUELO CL

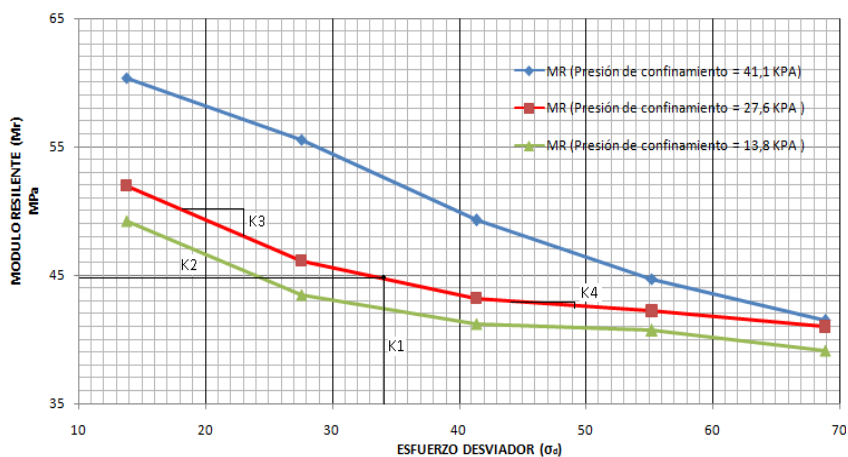


GRÁFICO B.10: SUELO CH

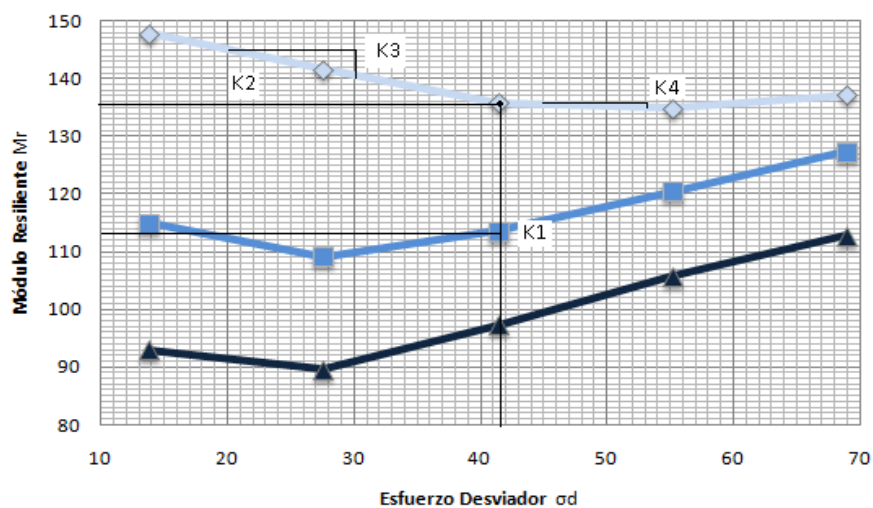


GRÁFICO B.11: SUELO MH

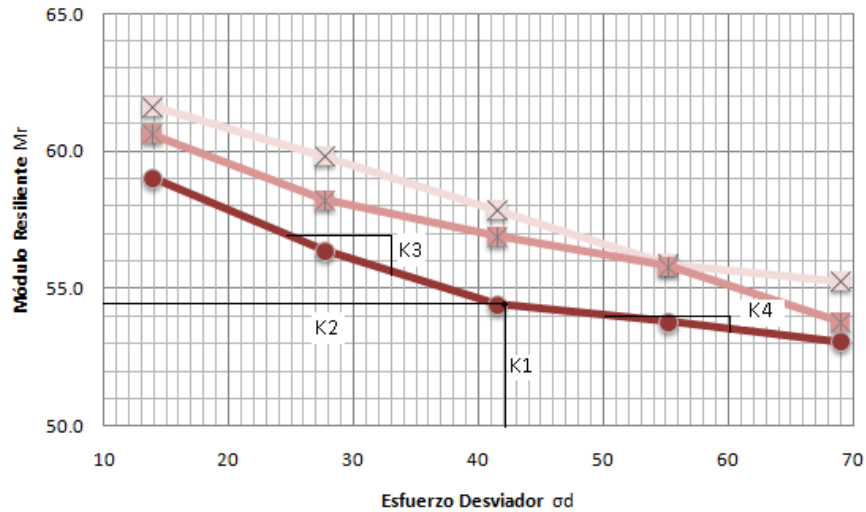


TABLA A.4. DETERMINACIÓN DE LA CONSISTENCIA DE SUELOS FINOS EN FUNCIÓN M_r

SUELO	K1	K2	K3	K4	Mrmax (Kpa)	Mrmin (Kpa)	Consistencia
CH	97000	42	2000	125	110000	93000	RIGIDA
CL	40000	34	400	40	49000	38000	BLANDA
MH	54000	42	188	50	59000	53000	MEDIA

En la tabla previa se determina los valores de las constantes y se resume la consistencia de los suelos finos ensayado.

Nota: Los valores de M_{rmax} y M_{rmin} se obtienen de las gráficas B.9 a B.11 y sólo analizando la curva con un esfuerzo de confinamiento de 13.8 KPa

4.3 Análisis comparativo de los costos de la estabilización del suelo utilizando Cloruro de Calcio con otros estabilizantes

TABLA A.5: CUADRO DE FACTIBILIDAD ECONÓMICA DEL PROYECTO UTILIZANDO CLORURO DE CALCIO

DATOS	CANTIDAD	UNIDAD	COSTO UNITARIO	COSTO TOTAL
Longitud de vía (4 carriles)	30000	m		
Longitud de vía (2 carriles)	60000	m		
Ancho de la vía (4 carriles)	15	m		
Ancho de la vía (2 carriles)	9	m		
Espesor de subbase estabilizada	0.2	m		
Volumen total	198000	m ³		
Peso del material	293634000	kg		
MATERIALES				
% de suelo natural	100	%		
Peso del material	293634000	kg		
ESTABILIZANTE				
% de cloruro de calcio	1.5	%		
Peso	4404510	kg	0.95	\$4,184,284.50
EQUIPOS				
Motoniveladora con Escarificadora	2128	h	50	\$106,400.00
Rodillo Pata de Cabra	2198	h	35	\$76,930.00
Minicargador con Fresadora	1050	h	30	\$31,500.00
Carro Tanquero de Agua	1064	h	40	\$42,560.00
			TOTAL	\$4,441,674.50

COSTO/km	\$49,351.94
COSTO/m²	\$4.49
COSTO/m³	\$22.43

NOTA: El cloruro de calcio se mezcla con el agua del tanquero.
Densidad seca máxima promedio es 1483 kg/m³

**TABLA A.6: CUADRO DE FACTIBILIDAD ECONÓMICA DEL PROYECTO
UTILIZANDO CAL**

DATOS	CANTIDAD	UNIDAD	COSTO UNITARIO	COSTO TOTAL
Longitud de vía (4 carriles)	30000	m		
Longitud de vía (2 carriles)	60000	m		
Ancho de la vía (4 carriles)	15	m		
Ancho de la vía (2 carriles)	9	m		
Espesor de subbase estabilizada	0.2	m		
Volumen total	198000	m3		
Peso del material	293634000	kg		
MATERIALES				
% de suelo natural	100	%		
Peso del material	293634000	kg		
ESTABILIZANTE				
% de cal	5	%		
Peso	14681700	kg	0.25	\$3,670,425.00
EQUIPOS				
Motoniveladora con Escarificadora	2128	h	50	\$106,400.00
Rodillo Pata de Cabra	2198	h	35	\$76,930.00
Minicargador con Fresadora	1050	h	30	\$31,500.00
Carro Tanquero de Agua	1064	h	40	\$42,560.00
Camión Distribuidor de Cal	1785	h	45	\$80,325.00
			TOTAL	\$3,927,815.00

COSTO/km	\$43,642.39
COSTO/m2	\$3.97
COSTO/m3	\$19.84

NOTA: Densidad seca máxima promedio es 1483 kg/m3

CAPÍTULO 5

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1 Conclusiones

Luego de realizar los diferentes ensayos al suelo natural y al suelo con los diferentes porcentajes de Cloruro de Calcio; y al analizar los resultados obtenidos se pudieron obtener las siguientes conclusiones:

- A lo largo del tramo de 4 km de la Vía San Vicente – Pedernales de donde se tomaron las muestras, la clasificación de los suelos se lo hizo cada 500 m de longitud a una profundidad de 0.50 m con el fin de recolectar diferentes tipos de suelos en donde se aplicaría el estabilizante Cloruro de Calcio.
- De las ocho muestras obtenidas en campo especificadas en la Tabla 5.1, se tomaron las muestras 2, 4, 6 y 7 ya que estas presentan características más desfavorables, donde se tiene como resultado Limo de Alta Plasticidad (MH), Arena Limosa (SC), Arcilla de Alta Plasticidad (CH) y Arcilla de Baja Plasticidad (CL) respectivamente según la clasificación del Sistema Unificado de Clasificación de Suelos (SUCS).
- Utilizando la clasificación American Association of State Highway Transportation Officials (AASHTO), se determinó que la muestra 2 es A-7-5(51), la muestra 4 es A-7-5(4), la muestra 6 es A-7-5(60) y la muestra 7 es A-6(14) donde el número entre paréntesis indica el Índice de Grupo.
- La densidad seca máxima para suelos finos (limos y arcillosas) varía entre 1.401 g/cm³ y 1.553 g/cm³, el CBR 0.1" entre 1.0 y 4.0 y el CBR 0.2" entre 1.0 y 5.0. Para los suelos arenosos se obtuvo valores alrededor de 1.576 g/cm³ de densidad seca máxima y valores de 15 para CBR 0.1" y 16.00 para CBR 0.2".

- Con los porcentajes utilizados de Cloruro de Calcio que son de 0.5 a 2%, la absorción de agua en el suelo en el ensayo de CBR, no se ve afectada con el aumento de Cloruro de Calcio, es decir, se mantiene la misma permeabilidad del suelo como se puede observar en la Tabla ##### del Capítulo 4.
- Observando los resultados de la Tabla %%, se concluye que las arcillas de alta plasticidad varían su Módulo de Resiliencia al aumentar el porcentaje de Cloruro de Calcio en un rango de 110MPa a 160Mpa, mientras que en los limos, en las arenas y arcillas de baja plasticidad, su Módulo de Resiliencia se es afectado con el porcentaje de químico respectivo disminuyéndolos de 10 a 30MPa.
- Con la Tabla A.5 del Capítulo 4, se puede determinar que los suelos finos CH, CL y MH son categorizados de RIGIDA, BLANDA y MEDIA respectivamente. Esto nos ayuda a categorizar dentro de las arcillas o limos, diferentes tipos de suelo conociendo internamente su reacción y comportamiento a las acciones de carga y descarga de fueras.
- Con la Tabla %% en la cual se compara los valores de CBR en suelo natural junto a los valores de CBR con Cloruro de Calcio a distintas dosificaciones, se puede concluir que el uso de este aditivo no mejora considerablemente la resistencia a esfuerzos cortantes llegando incluso a ser perjudicial para el suelo o de nulo el efecto. Los porcentajes de CBR con el estabilizante Cloruro de Calcio varían de 2 a 6 en suelos finos y de 14 a 16 en arenas arcillosas.
- Si se tuviera como material una arena bien graduada junto a un porcentaje de 1.5% de Cloruro de Calcio, el costo al emplearlo por m² es de \$5.56 o por m³ de \$27.80. Comparándolo con la utilización de Cal que es de \$3.97 el m² o \$19.84 el m³, como se muestra en las Tablas A.6 y A.7 del Capítulo 4 se concluye que el uso de Cloruro de Calcio no resulta económicamente.

- El uso de Cloruro de Calcio no es aplicable en suelos finos incluyendo arenas con alta plasticidad ya que puede variar los resultados drásticamente debido a la composición química del suelo, la forma y posición de las partículas finas del suelo.

5.2 Recomendaciones

- Debido a que con la lluvia el cloruro de calcio al regarlo sobre el suelo se disuelve y se pierde, es recomendable utilizarlo siempre y cuando la época de construcción no sea invernal, y este funciona mejor en lugares secos con bastante viento ya que impide que se levante como polvo el suelo.
- Se recomienda que solo una persona realice los ensayos de un tipo de suelo porque varían los resultados por la manipulación de diversas maneras de la muestra o al realizar las respectivas compactaciones.
- Antes de manipular un químico, se debe averiguar su composición y riesgos en su empleo y conocer normas de manipulación del mismo para no poner en riesgo la integridad física del laboratorista.

5.3 Bibliografía

Libros:

1. ASPHALT INSTITUTE, Manual básico de emulsiones asfálticas, 19, USA, 2005.
2. ASTM. Annual Book of ASTM Standards. Section four. Construction, Volume 04.03. Road and Paving Materials, Vehicle - Pavement Systems, Baltimore, USA, 2002.
3. SALVADOR, Ricardo y MONTERO, Juan Carlos, Curso de Mecánica de Suelos
4. LARREA Nicanor, Villalba Lenin, Enzimas organicas de la estabilización de suelos, un aporte al desarrollo, PUCE, Quito, 2000.
5. MONTEJO, Alfonso, Ingeniería de pavimentos, Tomo I y II, Bogotá, Universidad católica de Colombia, tercera edición, 2008
6. MOP, Curso de Revestimientos Asfálticos y Estabilización de Suelos, Tomo 1, Quito, 1980.
7. MOP, Especificaciones generales para la construcción de caminos y puentes, MOP – 001 – F – 2002, Tomos I y II.
8. VILLARREAL, Ivan, Estabilización de suelos para pavimentos, Quito, febrero de 1980
9. YANEZ Gustavo, Manual visual, Pontificia Universidad Católica del Ecuador, Ecuador.

Internet:

1. Mateos, M, Efectos del cloruro cálcico en la estabilidad de las tierras.
www.citop.es/PubPDF/Cimbra373_06.pdf
2. Instituto Mexicano del transporte, Estabilización de suelos con cloruro de sodio para su uso en las vías.
<http://www.imt.mx/archivos/Publicaciones/PublicacionTecnica/pt201.pdf>
3. Gutierrez, Wilfredo. Ensayo de Modulo Resiliente
www.bvsde.paho.org/bvsacd/cursouni/G-11.pdf
4. Vidal Julian, Osorio Rodrigo. Modulo Resiliente de Suelos Finogranulares
redalyc.uaemex.mx/pdf/215/21512507.pdf
5. Federal Highway Administration, Soil and Base Stabilization and Associated Drainage Considerations
www.fhwa.dot.gov/pubstats.html
6. A REVIEW OF ENGINEERING EXPERIENCES WITH EXPANSIVE SOILS IN HIGHWAY SUBGRADES
www.fhwa.dot.gov/pubstats.html
7. Garnica Paul, Gomez José, Sesma Jesús. Mecánica de Materiales para Pavimentos
www.camineros.com/docs/cam005.pdf

5.4 Anexos

Anexo A.1

**CUADRO COMPARATIVO DE CLASIFICACION
DE SUELOS SUCS - AASHTO**

SUELO	AASHTO		
S.U.C.S.	Más posible	Posible	Posible pero improbable
GW	A-1-a	-	A-2-4, A-2-5
GP	A-1-a	A-1-b	A-2-6, A-2-7
GM	A-1-b, A-2-4, A-2-5, A-2-7	A-2-6	A-4, A-5, A-6, A-7-5, A-7-6, A-1-a
GC	A-2-6, A-2-7	A-2-4, A-6	A-4, A-7-6, A-7-5
SW	A-1-b	A-1-a	A-3, A-2-4, A-2-5, A-2-6, A-2-7
SP	A-3, A-1-b	A-1-a	A-2-4, A-2-5, A-2-6, A-2-7
SM	A-1-b, A-2-4, A-2-5, A-2-7	A-2-6, A-4, A-5	A-6, A-7-5, A-7-6, A-1-a
SC	A-2-6, A-2-7	A-2-4, A-6 A-4, A-7-6	A-7-5
ML	A-4, A-5	A-6, A-7-5	-
CL	A-6, A-7-6	A-4	-
OL	A-4, A-5	A-6, A-7-5, A-7-6	-
MH	A-7-5, A-5	-	A-7-6
CH	A-7-6	A-7-5	-
OH	A-7-5, A-5	-	A-7-6
Pt	-	-	-

Anexo A.2

Consistencia	K ₁ (kPa)	K ₂ (kPa)	K ₃	K ₄	M _{Rmax}	M _{Rmin}
Muy blanda	6900	43	1110	0	39000	6900
Blanda	21000	43	1110	178	53000	12600
Media	53000	43	1110	178	85000	32500
Rígida	85000	43	1110	178	117000	52500

Tabla 2-6 Valores típicos de módulo de resiliencia

Anexo A.3

TABLA DE CLASIFICACION TIPICA

No. CBR	Clasificación General	Usos	SISTEMA DE CLASIFICACION	
			UnificaDo	AASHTO
0-3	Muy Pobre	Subrasante	OH, CH, MH, OL	A5, A6, A7
3-7	Pobre a Regular	Subrasante	OH, CH, MH, OL	A4, A5, A6, A7
7-20	Regular	Sub-base	OL, CL, ML, SC, SM, SP	A2, A4, A6, A7
20-50	Bueno	Base, Sub-base	GM, GC, SW, SM, SP, GP	A1b, A2-5, A3, A2-6
> 50	Excelente	Base	GW, GM	A1a, A2-4, A3

FUENTE: The Asphalt Institute, 1962, capítulo 5